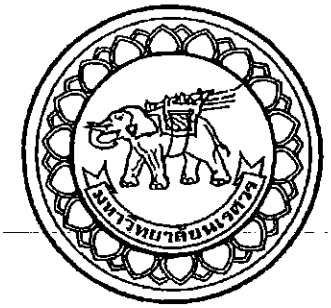


# อิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้ว ต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

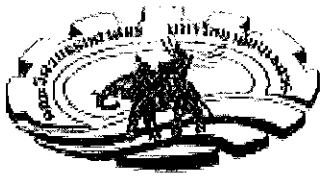
# THE EFFECTS OF WATER CONTENT, PERIOD OF CURING AND RATIO OF GLASS POWDER ON MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF FLOOR TILES WHITE CEMENT


นางสาววรรณิภา ปราณีต รหัส 51363203
นายนรินทร์ ขัตติวงค์ รหัส 51365122
นางสาวอรวรรยา ทิมอยู่ รหัส 51365214



ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1596394
เลขเรียกหนังสือ ว/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 22690 2554


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554



# ใบรับรองปริญญานิพนธ์

**ชื่อหัวข้อโครงงาน** อิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้ว ต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

**ผู้ดำเนินโครงงาน**
นางสาววรรณิภา ปราณีต รหัส 51363203
นายนรินทร์ ขัตติวงค์ รหัส 51365122
นางสาวอรวรรยา ทิมอยู่ รหัส 51365214

**ที่ปรึกษาโครงงาน** อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย
**สาขาวิชา** วิศวกรรมวัสดุ
**ภาควิชา** วิศวกรรมอุตสาหการ
**ปีการศึกษา** 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | อิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้ว ต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว | | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นางสาววรรณิภา | ปราณีต | รหัส 51363203 |
| | นายนรินทร์ | ขัตติวงค์ | รหัส 51365122 |
| | นางสาวอรวรรยา | ทิมอยู่ | รหัส 51365214 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | อาจารย์ธณิกานต์ | ธงชัย | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมวัสดุ | | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ | | |
| **ปีการศึกษา** | 2554 | | |

.....


## บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้ว ต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่แตกต่างกัน ได้แก่ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ70 : 30 ตามลำดับ ใช้ขนาดของเศษแก้วในช่วง 6 – 12 เมช โดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนร้อยละ 30, 35 และ 40 นำมาขึ้นรูปเป็นกระเบื้องเซรามิก ทำการบ่มชิ้นงานเป็นเวลา 14 วัน และ 28 วัน จากนั้นนำมาหาค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด พบว่า ปริมาณน้ำ ระยะเวลาของการบ่มชิ้นงาน และปริมาณเศษแก้ว มีอิทธิพลต่อความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด โดยการเพิ่มปริมาณน้ำ ส่งผลให้มีน้ำในส่วนผสมมากเกินไป ชิ้นงานจึงมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำสูงขึ้น ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดของชิ้นงานจึงมีค่าลดลง โดยอัตราส่วนผสมปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก คือ อัตราส่วนที่ให้สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลที่สูงที่สุด ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 28 วัน ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องสมบูรณ์ ส่งผลให้สมบัติทางกล และทางกายภาพดีกว่าการบ่มเป็นเวลา 14 วัน นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้ว ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ในทางตรงกันข้ามพบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้ว ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดลดลง เนื่องจากโดยอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสูงสุด ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูซึมน้ำต่ำสุด และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดต่ำสุด และในอัตราส่วน 20 : 80 จะให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นต่ำสุด ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำสูงสุด และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงสุด

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย เป็นอย่างสูง ที่ให้โอกาสแก่ผู้ทำโครงงานในการดำเนินงานครั้งนี้ อีกทั้งให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับการค้นคว้าข้อมูล แนวทางปฏิบัติการดำเนินโครงงาน การวิเคราะห์ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ รวมถึงแง่คิดในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ จนโครงงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิชาการอันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงานได้จนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำโครงงานเป็นคนดีของสังคม

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัวที่สนับสนุน เป็นกำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรัก คำปรึกษา และความช่วยเหลือขณะที่ศึกษาและทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
วรรณิภา ปราณีต
นรินทร์ ขัตติวงค์
อรวรรยา ทิมอยู่

เมษายน 2555

# สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....5
2.1 กระเบื้อง.....5
2.2 แก้ว.....13
2.3 ปูนซีเมนต์.....18
2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก.....28
2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง.....29
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....30

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน.....33
3.1 วัตถุดิบ และอุปกรณ์.....34
3.2 วิธีการขึ้นรูป.....34
3.3 การทดสอบลักษณะเฉพาะ และสมบัติ.....35
3.4 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบการทดลอง.....36
3.5 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มรายงาน.....36

# สารบัญ (ต่อ)


หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ ..... 37
4.1 อิทธิพลของปริมาณน้ำ ..... 37
4.2 อิทธิพลจากระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน ..... 44
4.3 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ..... 50

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ ..... 58
5.1 สรุปผลการทดลอง ..... 58
5.2 ข้อเสนอแนะ ..... 59
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข ..... 59

เอกสารอ้างอิง ..... 61

ภาคผนวก ก ..... 63
ภาคผนวก ข ..... 76
ภาคผนวก ค ..... 89
ภาคผนวก ง ..... 102

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ....3

2.1 ตารางการแบ่งระดับชั้นของการขัดสี PEI (Porcelain Enamel Institution)....8

3.1 ส่วนผสมของอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ และเศษแก้วโซดาไลม์....35

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกล ที่อัตราส่วนปริมาณน้ำต่างๆ....37

4.2 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนปริมาณน้ำต่างๆ....43

4.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกล และทางกายภาพ ที่ใช้ระยะเวลาในการบ่ม 14 และ 28 วัน....44

4.4 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ใช้เวลาในการบ่ม 14 และ 28 วัน....49

4.5 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกล ที่อัตราปริมาณแก้วต่างๆ....50

4.6 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมปริมาณเศษแก้วต่างๆ....55

ก.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจาก ปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน....64

ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจาก ปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน....70

ข.1 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจาก ปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน....77

ข.2 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจาก ปูนซีเมนต์ขาว ผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน....83

ค.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจาก ปูนซีเมนต์ ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน....90

ค.2 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจาก ปูนซีเมนต์ขาว ผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน....96

ง.1 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อ ปูนซีเมนต์ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะ เวลา 14 วัน....103

ง.2 ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อ ปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก บ่มเป็นระยะ เวลา 28 วัน....109

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | กระเบื้องบุผนัง | 7 |
| 2.2 | กระเบื้องปูพื้น | 9 |
| 2.3 | กระเบื้องโมเสก | 10 |
| 2.4 | กระเบื้องแกรนิต | 11 |
| 2.5 | กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต | 11 |
| 2.6 | กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ | 12 |
| 2.7 | ขวดแก้ว | 14 |
| 2.8 | ขวดแก้วโซดาไลม์ | 15 |
| 2.9 | แก้วตะกั่ว | 16 |
| 2.10 | แก้วบอโรซิลิเกต | 16 |
| 2.11 | แก้วอลูมิโนซิลิเกต | 17 |
| 2.12 | กลาสเซรามิก | 17 |
| 2.13 | ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ | 24 |
| 2.14 | ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง | 25 |
| 2.15 | ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมอลูมิเนต | 26 |
| 2.16 | ลักษณะความพรุนของซีเมนต์ | 27 |
| 3.1 | แผนภาพขั้นตอนการดำเนินโครงงาน | 33 |
| 3.2 | ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ | 34 |
| 3.3 | เศษแก้วโซดาไลม์บดผ่านตะแกรงร่อน ช่วง 6 - 12 เมช | 34 |
| 3.4 | หล่อชิ้นงานลงแม่พิมพ์ | 35 |
| 4.1 | ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อความหนาแน่น โดยใช้น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 | 38 |
| 4.2 | ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ โดยใช้น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 | 39 |
| 4.3 | ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อความแข็งแรงต่อแรงดัดโดยใช้น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 | 41 |
| 4.4 | ผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อความหนาแน่น | 45 |
| 4.5 | ผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ | 46 |
| 4.6 | ผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อความแข็งแรงต่อแรงดัด | 47 |
| 4.7 | ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อความหนาแน่น | 51 |
| 4.8 | ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ | 52 |
| 4.9 | ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อความแข็งแรงต่อแรงดัด | 53 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

อุตสาหกรรมเซรามิกนับเป็นหนึ่งอุตสาหกรรม ที่เสริมสร้างเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการเพื่อนำมาใช้ในครัวเรือน หรือ ใช้ตกแต่งในสถานที่ต่างๆ โดยผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารมีสัดส่วนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อส่งจำหน่ายทั้งใน และนอกประเทศเป็นอันดับ 1 รองลงมาได้แก่ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มกระเบื้อง (กรมศุลกากร, 2553) ซึ่งเป็นหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ควรได้รับการวิจัย และพัฒนา เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ตรงกับจุดประสงค์ต่อการใช้งานที่แตกต่างกันไป โดยในกระบวนการผลิตกระเบื้องเซรามิกนั้นมีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง ทั้งในส่วนของวัตถุดิบ กระบวนการขึ้นรูป และอุณหภูมิการในการเผาที่สูงถึง 1250 องศาเซลเซียส (°C)

ปัจจุบันทั่วโลก และประเทศไทยได้ให้ความสนใจในการอนุรักษ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น จึงทำให้การลดใช้พลังงาน และการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นที่สนใจในการศึกษาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันบนโลกเรามีขยะจำนวนมาก ส่วนใหญ่จะเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เพื่อลดปัญหาขยะล้นเมืองจึงต้องมีการนำมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยแก้วเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เป็นภาชนะ บรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวดบรรจุเครื่องดื่ม อาหาร อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ และทางการแพทย์ เนื่องจากแก้วมีความเรียบ และไม่มีรูพรุนบนพื้นผิว ทำให้ขวดน้ำ หรือ ภาชนะที่ทำจากแก้วนี้ทำความสะอาดได้ง่าย ภาชนะจากแก้วที่ใช้บรรจุอาหาร และเครื่องดื่มไม่ทำให้รสชาติอาหารเปลี่ยน และไม่มีสารปนเปื้อน เนื่องจากแก้วไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี หรือ อาหาร จึงสามารถคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุไว้ได้ ทั้งยังสามารถขึ้นรูปให้มีรูปทรงที่หลากหลาย และสามารถเติมสีเพื่อเพิ่มความสวยงามได้อีกด้วย โดยจุดเด่นสำคัญของแก้ว คือ สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ใหม่ โดยวิธีการหลอมซึ่งสามารถทำการหลอมเพื่อรีไซเคิลได้หลายครั้งโดยที่สมบัติไม่เปลี่ยนไปจากเดิม แต่แก้วเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามกาลเวลา ดังนั้นปริมาณขยะแก้วจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากยังมีขยะตกค้างตามแหล่งชุมชนต่างๆ (ระบบเครือข่ายสารสนเทศ ด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย, 2543 – 2549) ซึ่งนำไปสู่ปัญหาขยะล้นเมือง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการบริหารจัดการขยะแก้วชนิดต่างๆ อย่างเหมาะสม เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และเกิดประโยชน์สูงสุด อาจนำมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตกระเบื้องเพื่อลดต้นทุนที่ใช้ในการผลิต และลดต้นทุนค่าวัตถุดิบ ซึ่งการนำเศษแก้วมาหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นการตอบสนอง และแก้ปัญหาขยะจากเศษแก้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะนำไปสู่หนทางการแก้ปัญหา และการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกเศษแก้วมาเป็นองค์ประกอบหนึ่งของส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตกระเบื้อง

งานปริญญานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษา เพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุนในการผลิตกระเบื้องเซรามิก ทั้งในด้านลดการใช้พลังงาน และลดต้นทุนค่าวัตถุดิบ โดยการนำขวดแก้ว (แก้วโซดาไลม์) มาบดให้ได้ขนาดประมาณ 3.35 – 1.68 มิลลิเมตร (6 – 12 Mesh) นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ขาว เพื่อผลิตกระเบื้องปูพื้น เนื่องจากกระเบื้องปูพื้นในปัจจุบันต้องผ่านกระบวนการเผา แต่สำหรับกระเบื้องที่ทำการผลิตนี้มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ขาว และเศษแก้วโซดาไลม์ จึงไม่สามารถนำไปผ่านกระบวนการเผาได้ ส่งผลให้ลดต้นทุนในด้านเชื้อเพลิง และต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบ อีกทั้งเศษแก้วอาจ

เพิ่มความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์กระเบื้องได้อีกด้วย จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และเป็นอีกแนวทางหนึ่ง ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ในอนาคตอันใกล้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว เพื่อผลิตเป็นกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ด้านความแข็งแรงต่อแรงดัด

1.2.2 ศึกษาระยะเวลาในการบ่ม โดยใช้ระยะเวลาในการบ่ม ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ด้านความแข็งแรงต่อแรงดัด ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

1.2.3 ศึกษาอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ด้านความแข็งแรงต่อแรงดัด

## 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ได้ผลิตภัณฑ์กระเบื้องปูพื้น ที่ผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว

1.3.2 ได้สมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

## 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม อัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล

## 1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 เศษแก้วโซดาไลม์

1.5.2 ใช้ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

1.5.3 ใช้เศษแก้วโซดาไลม์บดขนาด 3.35 – 1.68 มิลลิเมตร (6 – 12 Mesh) ผสมกับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ

1.5.4 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ โดยใช้น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

1.5.5 ศึกษาระยะเวลาในการบ่มชิ้นงานโดยใช้ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน และ 28 วัน

1.5.6 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ เพื่อผลิตกระเบื้องปูพื้น

1.5.7 ศึกษาสมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพของกระเบื้องปูพื้น ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด

1.5.8 ศึกษาขนาดของเศษแก้วที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด

## 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

1 กรกฎาคม 2554 – 30 เมษายน 2555

## 1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

**ตารางที่ 1.1** ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

| การดำเนินโครงงาน | พ.ศ. 2554 | | | | | | | พ.ศ. 2555 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
| 1.8.1 จัดทำข้อเสนอโครงงาน | ← | → | | | | | | | | | |
| 1.8.2 ศึกษาข้อมูล | ← | | → | | | | | | | | |
| 1.8.3 วางแผนลำดับขั้นตอนการดำเนินงาน | | | ← | → | | | | | | | |
| 1.8.4 ช่วงเตรียมวัตถุดิบ<br>1.8.4.1 นำเศษแก้วโซดาไลม์มาบดให้ละเอียด และคัดขนาด<br>1.8.4.2 ปูนซีเมนต์ขาว (White Cements) ตราเสือ | | | | | ← | | → | | | | |
| 1.8.5 ช่วงเตรียมแม่พิมพ์<br>1.8.5.1 เตรียมแม่พิมพ์ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์ เซนติเมตร | | | | | ← | | → | | | | |

**ตารางที่ 1.1 (ต่อ)** ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

| การดำเนินโครงงาน | พ.ศ. 2554 | | | | | | | พ.ศ. 2555 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
| 1.8.5.2 ทำชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการหล่อ(Casting) แล้วปล่อยทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นงาน ออกจากแม่พิมพ์ | | | | | | ← | → | | | | |
| 1.8.6 บ่มชิ้นงานที่ได้ในอากาศเป็นเวลา 14 และ 28 วัน เมื่อครบกำหนดแล้วเตรียมชิ้นงานนำมาทดสอบ | | | | | | | ← | → | | | |
| 1.8.7 ทดสอบชิ้นงาน<br>1.8.7.1 การทดสอบความหนาแน่น<br>1.8.7.2 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ<br>1.8.7.3 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัด | | | | | | | | ← | → | | |
| 1.8.8 วิเคราะห์สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงาน | | | | | | | | | ← | → | → |

# บทที่ 2
# หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

## 2.1 กระเบื้อง

ในปัจจุบันกระเบื้องเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการตกแต่ง บ้าน อาคาร หรือ สถานที่ต่างๆ อีกทั้งยังมีความต้องการในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกระเบื้องเซรามิก มีให้เลือกมากมายหลายแบบ หลายรูปทรง หลายขนาด หลากสีสันตามความต้องการ หาซื้อง่าย ราคาไม่แพง เมื่อปูแล้วทำให้บ้านดูสวยงามน่าอยู่ และที่สำคัญ คือ การดูแลรักษาง่าย มีความแข็งแรง ทนทาน

กระเบื้องที่ใช้ตกแต่งบ้านมีให้เลือกมากมายหลายประเภท ตามความเหมาะสมในการใช้งาน โดยทั่วไปแล้ว สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

กระเบื้องบุผนัง คือ กระเบื้องที่มีความบาง และเบา ผิวหน้าของกระเบื้องมันวาวเหมาะกับการใช้บุผนัง ทำให้ดูสวยงาม และทำความสะอาดง่าย ขนาดของกระเบื้องที่ผลิตมีตั้งแต่ 8 x 8 ตารางนิ้ว ($in^2$), 8 x 10 ตารางนิ้ว, 8 x 12 ตารางนิ้ว ส่วนใหญ่มักนิยมใช้กระเบื้องบุผนังขนาด 8 x 8 ตารางนิ้ว ส่วนขนาด 8 x 10 ตารางนิ้ว และ 8 x 12 ตารางนิ้ว เหมาะกับห้องที่มีขนาดเล็ก ซึ่งช่วยให้ห้องดูกว้างขึ้น ที่สำคัญมักไม่นิยมนำกระเบื้องบุผนังไปปูพื้น เพราะผลิตมาใช้งานเฉพาะด้าน และความแข็งแรงของกระเบื้องบุผนังน้อยกว่ากระเบื้องปูพื้น

กระเบื้องปูพื้น คือ กระเบื้องที่มีลักษณะหนากว่ากระเบื้องบุผนัง เพื่อให้รับน้ำหนักได้มาก เพราะต้องปูติดกับพื้นบ้าน ผิวหน้าเคลือบด้านเล็กน้อย เพื่อป้องกันการลื่นไถลเวลาเดิน สามารถใช้ทั้งปูพื้น และบุผนังได้ แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้ปูพื้นมากกว่า

กระเบื้องโมเสก คือ กระเบื้องที่มีขนาดเล็กๆ ขนาดประมาณ 1 - 4 ตารางนิ้ว กระเบื้องที่ผ่านการเผาแล้ว นำมาติดบนตาข่ายให้เป็นแผ่น บนพื้นที่ประมาณแผ่นละ 1 ตารางฟุต แต่ก่อนนิยมใช้ ในการปูห้องน้ำ และบุผนังบางส่วน แต่ในปัจจุบันความนิยมเริ่มลดน้อยลง แต่ก็ยังคงมีคนใช้อยู่ เช่น ใช้บุภายนอกอาคารแทนการทาสี ข้อดีของกระเบื้องโมเสก คือ อายุการใช้งานนาน และสีไม่ซีด ดูแลรักษาง่าย ไม่ต้องทาสีใหม่

กระเบื้องตกแต่งคิ้ว คือ กระเบื้องเซรามิกที่มีขนาด 2 x 8 ตารางนิ้ว และ 2 x 12 ตารางนิ้ว ใช้สำหรับตกแต่งขอบห้องครัว ห้องน้ำ หรือ ห้องนั่งเล่น เพื่อความสวยงาม แทนที่จะมีกระเบื้องบุผนังหรือ ปูพื้นเพียงอย่างเดียว

### 2.1.1 แนวทางในการเลือกใช้งานกระเบื้องเซรามิก

ตลาดในปัจจุบันนี้ถือได้ว่าเป็นตลาดของผู้บริโภคโดยแท้จริง ผู้ผลิตสินค้าไม่ว่าจะเป็นสินค้าชนิดใดต่างพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกมา เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิกได้มีการพัฒนาลวดลายสีสันที่หลากหลายเพิ่มมากขึ้น โดยเป็นไปตามแนวโน้มของตลาด อาจกล่าวได้ว่าสินค้ากระเบื้องเซรามิก ถือได้ว่าเป็นสินค้าแฟชั่นอย่างหนึ่ง เนื่องจากลวดลายสีสันที่เพิ่มมากขึ้น ที่ทางผู้ผลิตกระเบื้องต่างพัฒนาสินค้าออกมามากมายจนทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกสรรได้อย่างไม่มีขีดจำกัดในด้านประเภทต่างๆ ของกระเบื้อง สมบัติจำเพาะบางประการที่ทางผู้ผลิตได้พัฒนาสินค้าขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่มีจุดประสงค์การใช้งานที่แตกต่างกันไป กระเบื้องจึงได้มีการพัฒนาสินค้าขึ้นมาอย่างหลากหลาย

ดังนั้นผู้ที่ต้องการใช้งานกระเบื้องเซรามิกควรมีความรู้ และความเข้าใจในประเภทของกระเบื้อง คุณสมบัติที่ควรคำนึงถึงสำหรับการใช้งานกระเบื้องในพื้นที่ต่างๆ เพื่อการใช้งานกระเบื้องที่ถูกประเภทกับพื้นที่ที่ต้องการใช้ จะทำให้ผู้บริโภคไม่ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายต่างๆ โดยไม่จำเป็น เช่น การปูกระเบื้องผิดประเภท การซื้อกระเบื้องที่มีคุณภาพดี (ซึ่งราคาจะสูง) เกินไปกว่าความต้องการที่แท้จริง หรือ ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากใช้งานกระเบื้องผิดประเภท ซึ่งเมื่อสามารถเข้าใจในชนิดต่างๆ ของกระเบื้องเซรามิกที่มีอยู่ในท้องตลาด และทราบว่าบริเวณพื้นที่ที่ต้องการจะใช้งานนั้นต้องการคุณสมบัติแบบใดเป็นพิเศษ จะสามารถเลือกใช้กระเบื้องเซรามิกได้ตรงตามเจตนาของผู้ผลิตที่ต้องการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคอย่างสูงสุด

กระเบื้องเซรามิกอาจแบ่งประเภทตามการใช้งานของกระเบื้อง ซึ่งมักเป็นวิธีการจำแนกประเภทตามแนวทางการใช้งานของลูกค้า โดยสามารถแบ่งกระเบื้องเซรามิกได้เป็นกระเบื้องบุผนัง กระเบื้องปูพื้น และกระเบื้องสำหรับตกแต่ง (ซึ่งอาจจะตกแต่งทั้งพื้น และผนัง)

หากแบ่งตามประเภทของกระเบื้องเนื้อดิน แบ่งตามกระบวนการผลิต และแบ่งคุณภาพตามที่มาตรฐานสากลยอมรับซึ่งเป็นการจำแนกประเภทตามแนวทางของผู้ผลิต สามารถแบ่งประเภทของกระเบื้องได้เป็น

2.1.1.1 กระเบื้องบุผนัง (เนื้อเอิร์ธเธินแวร์ : Earthen Ware)

2.1.1.2 กระเบื้องปูพื้น (เนื้อสโตนแวร์ : Stone Ware)

2.1.1.3 กระเบื้องโมเสก (เนื้อพอร์ซเลน : Porcelain)

2.1.1.4 กระเบื้องแกรนิต (เนื้อพอร์ซเลน : Porcelain)

2.1.1.5 กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต (Glaze Porcelain)

2.1.1.6 กระเบื้องเติร์ทไฟร์ริ่ง (Third Firing)

2.1.1.7 กระเบื้องที่ผลิตมาจากกระบวนการรีด (Spilt Tile ซึ่งเป็นเนื้อสโตนแวร์ หรือ พอร์ซเลน)

2.1.1.8 กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ (เทอร์ราคอตต้า : Terra Cotta) เนื้อกระเบื้องเป็นเนื้อเอิร์ธเธินแวร์

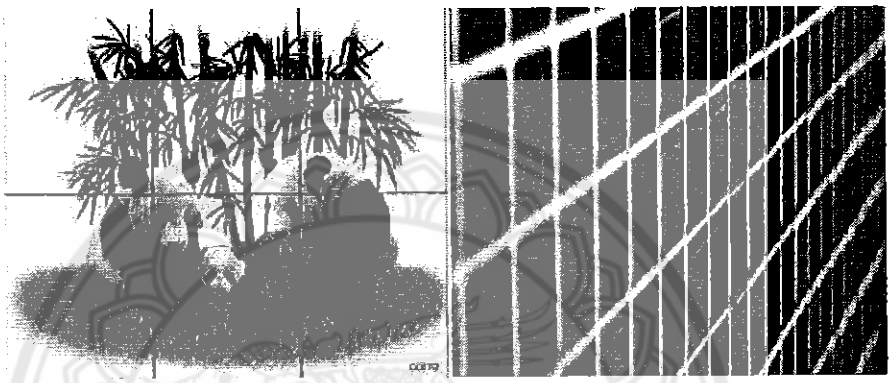
2.1.1.9 กระเบื้องที่มีรูปร่างพิเศษ (Special Shape)

สำหรับรายละเอียดของกระเบื้องในแต่ละชนิดนั้นมีดังนี้

2.1.1.1 กระเบื้องบุผนัง คือ กระเบื้องที่ใช้สำหรับบุผนังของบ้าน หรือ อาคาร ในอดีตนั้นกระเบื้องบุผนังมักจะถูกจำกัดการใช้งานอยู่เพียงในห้องน้ำเท่านั้น แต่ในปัจจุบันผู้ผลิตกระเบื้องได้มีการพัฒนาสีสันลวดลายให้มีความสวยงามจนสามารถนำมาใช้งานได้ในทุกพื้นที่ของบ้าน หรือ อาคาร ซึ่งข้อดีของการใช้กระเบื้องบุผนังทดแทนการทาสี หรือ การใช้วอลล์เปเปอร์ เพื่อตกแต่งให้ห้องมีความสวยงามขึ้น คือ กระเบื้องจะมีความทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทำความสะอาดง่ายกว่าวัสดุอื่นๆ และในปัจจุบันผู้ผลิตได้ออกแบบเพิ่มลูกเล่นต่างๆ การตกแต่งตามความต้องการของเจ้าของบ้านเนื้อกระเบื้องสำหรับบุผนังนั้นจะต้องมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงต้องมีความพรุนตัวสูง มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงต่ำ กระเบื้องบุผนังไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงสูงมากเท่ากับกระเบื้องสำหรับในงานปูพื้น ขนาดของกระเบื้องต้องมีความเที่ยงตรงมากในแต่ละแผ่น เพื่อที่เวลาปูกระเบื้องแล้วจะทำให้ได้แนวของกระเบื้องที่สวยงาม ดังนั้นการหดตัวของกระเบื้องชนิดนี้จะต้องต่ำมาก หรือไม่เกิดการหดตัวเลย ต้องไม่เกิดการรานตัว หรือ การแตกร้าวของชั้นผิวเคลือบซึ่งเมื่อใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่ง อันเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวเนื่องจากความชื้น ดังนั้นสีเคลือบต้องมีความทนทาน

ต่อกรด และเบส เนื่องจากบางครั้งผู้ใช้งานอาจทำความสะอาดพื้นกระเบื้องด้วยน้ำยาล้างห้องน้ำซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด หรือ เบสได้

เนื้อดินของกระเบื้องบุผนังนั้นจะเป็นเนื้อดินชนิด Earthen Ware ซึ่งมีร้อยละการดูดซึมน้ำสูง (ร้อยละ 15 - 22) และความแข็งแรงไม่สูงมากนัก สีเคลือบส่วนใหญ่มักจะเป็นผิวมัน ดังนั้นจึงไม่ควรนำเอากระเบื้องบุผนังไปใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักมาก งานที่ต้องสัมผัสกับน้ำ หรือ พื้นที่ที่มีการขูดขีดขัดสีอยู่ตลอดเวลา เช่น พื้นที่สาธารณะ หรือ พื้นบ้าน เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวของกระเบื้อง ซึ่งจะทำให้ความสวยงามหมดลงไปได้ในที่สุด นอกจากนี้อาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ถ้านำกระเบื้องบุผนังซึ่งมีผิวมันมากเป็นพิเศษ ไปใช้ปูพื้น



รูปที่ 2.1 กระเบื้องบุผนัง
ที่มา : www.thaicontractor.com

2.1.1.2 กระเบื้องปูพื้น จุดประสงค์หลักของกระเบื้องชนิดนี้ คือ ใช้สำหรับปูพื้น เพื่อให้เกิดความสวยงาม ทนทาน คงทน ทำความสะอาดง่าย สามารถใช้ทดแทนวัสดุประเภทอื่นที่มีราคาสูงกว่า เช่น หินแกรนิต หินอ่อน พื้นไม้ เนื้อกระเบื้องเป็นเนื้อ Stone Ware มีร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำถึงปานกลาง (ร้อยละ 3 - 6) ความแข็งแรงปานกลาง ผิวเคลือบมีทั้งแบบผิวมัน และผิวด้าน รวมทั้งลวดลาย และสีสันที่มีให้เลือกมากมาย ขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้งาน และขึ้นกับการใช้งานของพื้นที่ที่จะปูกระเบื้อง

สมบัติที่สำคัญที่ผู้ใช้งานควรคำนึงถึงสำหรับกระเบื้องปูพื้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ผู้ใช้งานเห็น หรือ สัมผัสได้ เช่น สีสัน ลวดลาย ลักษณะของผิวเคลือบ ขนาด คุณภาพของผิวหน้า ความโค้ง - แอ่นของกระเบื้อง กับส่วนที่เป็นสมบัติทางกายภาพ ที่ผู้ใช้งานไม่สามารถวัดค่าเหล่านั้นออกมาเป็นตัวเลขได้ แต่ทางผู้ผลิตได้มีการควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานที่ได้มีการกำหนดเอาไว้ เพื่อไม่ให้ลูกค้านำไปใช้งานแล้วเกิดปัญหาได้ในภายหลัง สมบัติเหล่านี้ ได้แก่

ความแข็งแรงของเนื้อกระเบื้อง ซึ่งถ้ามีค่าต่ำเกินกว่ามาตรฐานอาจจะทำให้กระเบื้องแตก หรือ ร้าวได้ เมื่อใช้งานในพื้นที่ที่ต้องรับแรงกดมาก

การดูดซึมน้ำ ถ้าการดูดซึมน้ำสูงเกินไปจะทำให้เฉดสีของกระเบื้องเปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากความชื้นที่สะสมอยู่ในเนื้อกระเบื้อง อาจพบปัญหาน้ำเหนียวซึ่งมีลักษณะคล้ายเจล ทำความสะอาดยาก ทำให้พื้นผิวของกระเบื้องลดความสวยงามลง ซึ่งปัญหานี้จะพบร่วมกันกับปัญหาน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ใช้งาน และคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้งานไม่ได้ตามคุณภาพ และถ้าความชื้น

มากเกินไปประกอบกับการดูดซึมน้ำของกระเบื้องสูงอาจพบปัญหาที่รุนแรงถึงขั้นกระเบื้องร่อนออกจากพื้นซีเมนต์ได้

ความทนทานต่อการขูดขีด ซึ่งจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณภาพของผิวเคลือบ โดยส่วนใหญ่แล้วผิวเคลือบที่เป็นผิวมันจะมีความทนทานต่อการขูดขีดต่ำกว่าผิวเคลือบด้าน จึงทำให้เกิดเป็นรอยได้ง่ายกว่า ดังนั้นจึงควรระมัดระวังในการใช้งานของกระเบื้องผิวมัน ที่ควรหลีกเลี่ยงการขูดขีดที่จะเกิดขึ้น

ความต้านทานต่อการขัดสี การใช้งานกระเบื้องปูพื้นนั้นไม่อาจหลีกเลี่ยงการเสียดสี ขัดสีระหว่างผิวกระเบื้องกับฝุ่นละออง ทราย กรวด ฯ ซึ่งเป็นวัสดุที่ทำอันตรายต่อผิวกระเบื้องเป็นอย่างมาก การทดสอบความทนทานต่อการขัดสีนั้นจะทำโดยการนำเอาผงขัดมาเข้าเครื่องขัดผิวหน้าของกระเบื้องโดยใช้จำนวนรอบในการขัดที่แตกต่างกัน และดูผลที่เกิดขึ้นกับผิวเคลือบภายหลังการขัดผิวหน้าของกระเบื้อง โดยมีการจัดระดับชั้นของกระเบื้องตามมาตรฐานของ PEI (Porcelain Enamel Institution) ค่าของแต่ละระดับชั้นเรียกว่าค่า PEI

**ตารางที่ 2.1** ตารางการแบ่งระดับชั้นของการขัดสี (PEI)

| จำนวนรอบของการขัดสีที่สามารถมองเห็นรอยขัด | ชั้นที่ |
|---|---|
| 100 | 0 |
| 150 | 1 |
| 600 | 2 |
| 750, 1,500 | 3 |
| 2,100, 6,000, 12,000 | 4 |
| > 12,000 และผ่าน ISO 10545 - 14 สำหรับความต้านทานต่อคราบสี | 5 |

ที่มา : คชินท์ (2551)

ในปัจจุบันมีผู้ผลิตกระเบื้องสำหรับปูพื้นหลายราย ซึ่งได้มีการระบุค่า PEI ไว้ที่ข้างกล่อง เพื่อให้ลูกค้ามีความชัดเจน และสามารถตัดสินใจว่าพื้นที่ที่จะใช้งานนั้นควรใช้กระเบื้องที่มีค่า PEI เท่าใด การจำแนกพื้นที่การใช้งานนั้นสามารถจำแนกได้ตามลำดับขั้นของค่า PEI ดังนี้

ขั้นที่ 0 กระเบื้องเคลือบสีในชั้นนี้ไม่แนะนำให้ใช้สำหรับปูพื้น

ขั้นที่ 1 ใช้ในพื้นที่ที่มีการสัญจรโดยสวมรองเท้าพื้นนิ่ม หรือ เท้าเปล่า โดยไม่มีฝุ่นละออง เช่น ในห้องนอน ห้องน้ำ

ขั้นที่ 2 ใช้ในพื้นที่ซึ่งมีการสัญจรโดยสวมรองเท้าพื้นนิ่ม หรือ รองเท้าปกติ และมีฝุ่นผงบ้างในจำนวนน้อย เช่น ห้องต่างๆ ภายในบ้าน

ขั้นที่ 3 ใช้ในพื้นที่ซึ่งมีการสัญจรบ่อยครั้งด้วยรองเท้าปกติ และมีฝุ่นผงไม่มากนัก เช่น ห้องครัว ภายในบ้าน ระเบียงทางเดิน ลานบ้าน

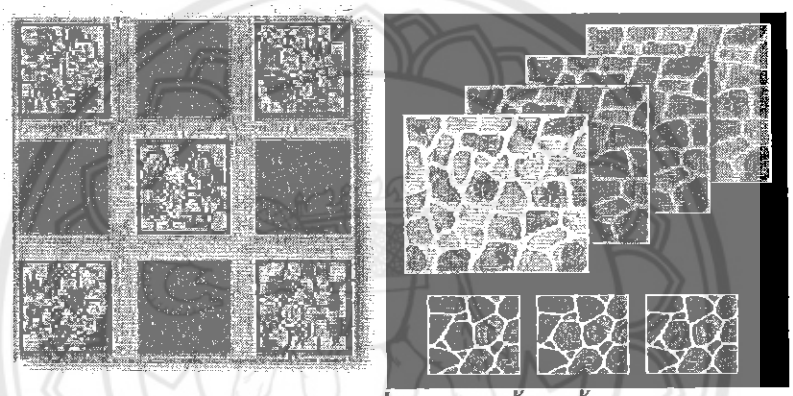
ขั้นที่ 4 ใช้ในพื้นที่ที่มีการสัญจรเป็นปกติ ซึ่งมีฝุ่นละอองมาก ทำให้มีสภาพที่ค่อนข้างรุนแรงกว่าขั้นที่ 3 เช่น ร้านอาหาร โรงแรม ห้องแสดงนิทรรศการ

ขั้นที่ 5 ใช้ในพื้นที่ที่มีการสัญจรพลุกพล่านเป็นเวลาต่อเนื่องยาวนานโดยมีปริมาณฝุ่นผงขัดสี เช่น ทราย กรวด จำนวนมากเป็นสภาพการใช้งานที่รุนแรงที่สุดซึ่งกระเบื้องปูพื้น

ชนิดเคลือบสีจะรองรับได้ เช่น ศูนย์การค้า โรงภาพยนตร์ ทางเดินสาธารณะ สถานีรถไฟฟ้า สถานีรถประจำทาง

ดังนั้นผู้ใช้งานควรทราบก่อนว่า จะใช้กระเบื้องสำหรับพื้นที่ใด แล้วจึงเลือกกระเบื้องตามค่า PEI ที่ได้มีการระบุไว้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดขึ้น เช่น การสูญเสียพื้นผิวที่สวยงามไปในระยะเวลาอันสั้น

ความต้านทานต่อสารเคมี เนื่องจากว่าการทำความสะอาดพื้นกระเบื้องเซรา-มิกนั้น ผู้บริโภคส่วนใหญ่มักใช้น้ำยาทำความสะอาดที่มีฤทธิ์เป็นกรด-หรือ-เบส น้ำยาทำความสะอาดบางชนิดมีฤทธิ์ที่จะกัดคราบสกปรกได้รุนแรงมาก ซึ่งถ้าผิวเคลือบของกระเบื้องไม่สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนเหล่านั้นได้จะส่งผลให้ทำให้ความสวยงามของพื้นกระเบื้องลดลง และสูญเสียความมันวาวไปในที่สุด ดังนั้นกระเบื้องปูพื้นเซรามิกที่ดีควรผ่านการทดสอบสารเคมี และรับประกันกับลูกค้าได้ว่าจะไม่เกิดปัญหาในการใช้งานแต่อย่างใด

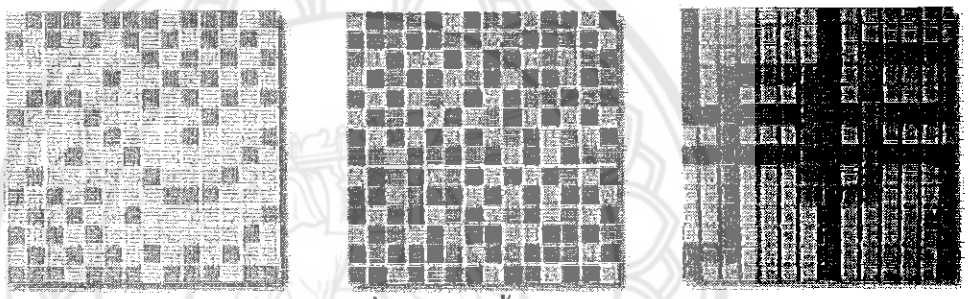


รูปที่ 2.2 กระเบื้องปูพื้น

ที่มา : www.thaifranchisecenter.com

2.1.1.3 กระเบื้องโมเสก (Mosaic) เป็นกระเบื้องที่มีร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำ มีความแข็งแรงสูง เนื้อกระเบื้องจัดอยู่ในประเภทพวกพอร์ซเลนมักเป็นกระเบื้องที่มีขนาดเล็ก (โดยขนาดต่ำกว่า 4 นิ้วลงไป) ผู้ผลิตจะทำการนำโมเสกเหล่านี้ ไปติดที่บน Sheet (Sheet คือ การปูแผ่นกระเบื้องแผ่นเล็กๆต่อๆ กัน จนเป็นกระเบื้องแผ่นใหญ่ 1 แผ่น) เมื่อปูจะทำการปูไปทั้ง Sheet จำนวนชิ้นของโมเสกในแต่ละ Sheet นั้นขึ้นกับขนาดของโมเสกที่นำมาติดกับ Sheet หากมีขนาดใหญ่จะใช้จำนวนน้อยชิ้น สีของตัวกระเบื้องโมเสกจะมีความเข้ม - อ่อนแตกต่างกันได้ โดยสีที่แตกต่างกันนี้มาจากสภาพความแตกต่างของอุณหภูมิเตาในแต่ละตำแหน่งของเตา โดยผู้ผลิตจะนำกระเบื้องโมเสกเหล่านี้มาจัดเรียงเฉดสีให้กลมกลืนกันภาย ใน 1 Sheet เรียกว่าการ Mix Pattern ซึ่งการที่เกิดความเข้มหรือ อ่อนของสีในแต่ละ Sheet นั้น ถือว่าเป็นเสน่ห์ หรือ เป็นเอกลักษณ์เด่นของกระเบื้องโมเสก ซึ่งลูกค้าที่เลือกใช้กระเบื้องประเภทนี้จึงมักจะชอบที่ความต่างของเฉดสีของกระเบื้องชนิดนี้ นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้ผลิตยังได้นำเทคโนโลยีสำหรับการตกแต่งลวดลายที่ใช้กับกระเบื้องปูพื้น หรือ บุผนังมาใช้กับการผลิตกระเบื้องโมเสกด้วย ทำให้กระเบื้องชนิดนี้มีลูกเล่นมากขึ้นกว่าในอดีต ที่มีเอกลักษณ์อยู่เพียงการผสมกันของเฉดสีของแต่ละแผ่น กระเบื้องโมเสกสามารถใช้ได้ทั้งการปูพื้น และบุผนัง นอกจากนี้ยังสามารถใช้บุผนังด้านนอกของอาคารซึ่งมักนิยมกันมากในประเทศญี่ปุ่น เราเรียกกระเบื้องโมเสกที่ใช้ปูนอกอาคารว่า Facing Tile ตัว Footing ของ Facing Tile นี้จะมีความลึก

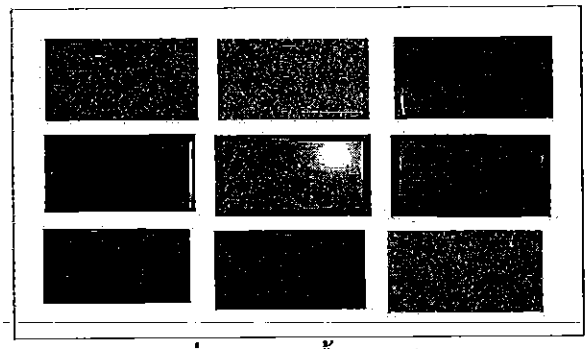
มากกว่าโมเสกปกติเพื่อความสามารถในการยึดติดได้ดีขึ้น การปู Facing Tile มักจะใช้วิธีปูไปบนแผ่นคอนกรีตสำเร็จก่อน เมื่อปูเรียบร้อยแล้วจึงสามารถยกขึ้นไปติดตั้งพร้อมกับการก่อสร้างอาคารได้เลย ข้อดีของกระเบื้อง Facing Tile คือ สีจะสามารถคงทนอยู่ได้ดีกว่าสีทาอาคาร สามารถทำความสะอาดได้ง่าย ไม่สกปรก หรือ ขึ้นราได้ง่าย เนื่องจากร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำมาก การเลือกใช้กระเบื้องโมเสกสำหรับปูพื้นนั้นควรเลือกประเภทของเคลือบที่มีผิวไม่มันมากนัก เพื่อจะได้ไม่มีอันตรายเมื่อพื้นลื่น นอกจากนี้ความสามารถในการทนทานต่อสารเคมีนั้น กระเบื้องโมเสกจะมีความทนทานได้ดีกว่ากระเบื้องปูพื้นหรือบุผนัง เนื่องจากกระเบื้องโมเสกใช้อุณหภูมิในการเผาที่สูงกว่ากระเบื้องที่มีเนื้อเป็นเนื้อเอิร์ธเธินแวร์ และเนื้อสโตนแวร์ ดังนั้นกระเบื้องโมเสกจึงสามารถทนต่อสารเคมีได้ดีกว่ากระเบื้องทั้ง 2 ชนิดที่ได้กล่าวมา ข้อเสียของกระเบื้องชนิดนี้จะอยู่ที่ปัญหาการทำความสะอาด เนื่องจากกระเบื้องนี้มีขนาดเล็กทำให้มีรอยต่อระหว่างแผ่น (Joint) มากซึ่งบริเวณดังกล่าวเมื่อทำการปูจะต้องใช้ปูนซีเมนต์ขาวในการยาแนว ซึ่งบริเวณนี้จะมีโอกาสที่จะเกิดคราบความสกปรก ตะไคร่สีเขียวได้ง่ายถ้าดูแลรักษาไม่ดีพอ



รูปที่ 2.3 กระเบื้องโมเสก

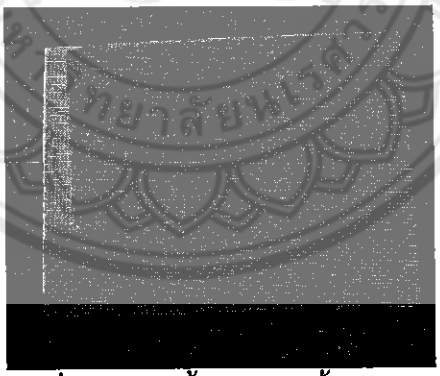
ที่มา : www.boonboomceramics.com

2.1.1.4 กระเบื้องแกรนิต เป็นกระเบื้องที่มีร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำมาก มีความแข็งแรงสูง เนื้อผลิตภัณฑ์เป็น Porcelain มีคำเรียกกระเบื้องชนิดนี้อยู่หลายคำ อาทิ Homogeneous Tile, Granite Tile, Granito Tile, Porcelain Tile คำเรียกกระเบื้องที่กล่าวมานี้เป็นคำเรียกกระเบื้องที่มีการผลิตเลียนแบบหินธรรมชาติ โดยการนำเอาสีเซรามิกเข้าไปผสมกับเนื้อดิน เพื่อให้เกิดสีขึ้นในเนื้อดิน เทคโนโลยีเริ่มต้นเมื่อประมาณสิบกว่าปีก่อน เริ่มจากการพยายามผลิตกระเบื้อง ให้มีลักษณะและสีสันใกล้เคียงหินแกรนิตธรรมชาติ มีทั้งแบบไม่ขัดผิวหน้า และขัดพื้นผิวให้มีความมันเหมือนในการขัดหินแกรนิต ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตอย่างต่อเนื่องทั้งในส่วนของเครื่องจักร ส่วนของเทคนิคการผลิต การตกแต่งลวดลาย ทำให้สามารถผลิตกระเบื้องที่เลียนแบบหินธรรมชาติได้แทบทุกชนิด ทั้งสีสัน และลวดลายจนบางครั้งไม่อาจจะแยกได้ว่าแผ่นไหนเป็นกระเบื้องที่มนุษย์ได้ทำการผลิตขึ้นมา หรือ แผ่นไหนเป็นหินธรรมชาติ เนื่องจากกระเบื้องแกรนิตได้มีการนำ สีเซรามิกใส่ผสมลงไปกับเนื้อดิน เลยทำให้กระเบื้องทั้งแผ่นมีสีเหมือนกันดังนั้นเมื่อใช้กระเบื้องไปนานๆ จนเกิดการขัดสีหรือ การกร่อนของผิวหน้า กระเบื้องก็ยังจะไม่เกิดปัญหาเหมือนกับกระเบื้องที่ใช้การเคลือบผิว เพราะเมื่อผิวหน้าด้านบนสึกไปพื้นด้านล่างก็ยังคงมีสีเช่นเดียวกันกับพื้นด้านบน แต่สำหรับกระเบื้องแกรนิตที่ผ่านการขัดผิวจนมันเงาแล้วอาจจะพบปัญหาผิวหน้าหมอง และด้านขึ้นเมื่อใช้ไปนานๆ ได้



**รูปที่ 2.4** กระเบื้องแกรนิต
ที่มา : www.thaifranchisecenter.com

2.1.1.5 กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกระเบื้องแกรนิต ทั้งในเรื่องร้อยละการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง แต่ที่ผิวหน้าจะมีการเคลือบสี และตกแต่งลวดลาย เพื่อให้เกิดความสวยงาม รวมทั้งช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านการขัดสี การขูดขีด ให้มีความทนทานเคลือบที่ใช้กับกระเบื้องแกรนิตนั้น มักจะเป็นเคลือบที่มีความทนทานทั้งกับสารเคมี และการขัดสี จึงสามารถใช้กระเบื้องชนิดนี้ได้ในทุกพื้นที่รวมทั้งภายนอกอาคาร และสถานที่สาธารณะต่างๆ ที่มีผู้คนสัญจรไปมาเป็นจำนวนมาก กระเบื้องชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศแถบยุโรป และอเมริกาที่มีอากาศหนาวเย็น อุณหภูมิในช่วงฤดูหนาวจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจนทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งถ้ากระเบื้องมีร้อยละการดูดซึมน้ำสูงก็จะพบปัญหาน้ำที่อยู่ตามรูพรุนกลายเป็นน้ำแข็ง และถ้ามีปริมาณมากอาจทำให้กระเบื้องแตกได้เนื่องจากการขยายตัวของน้ำแข็ง เราเรียกสมบัติที่สามารถทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศที่อุณหภูมิต่ำมากนี้ว่า Frost Resistance



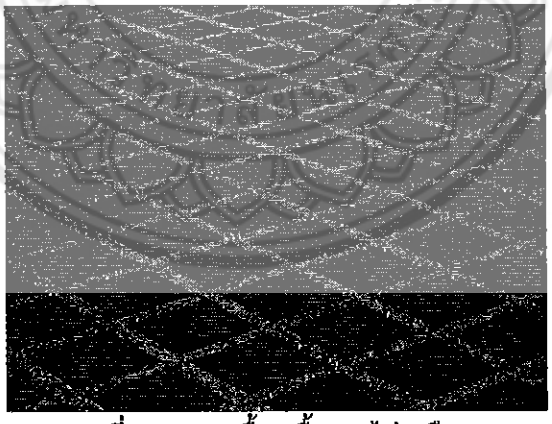
**รูปที่ 2.5** กระเบื้องเคลือบเนื้อแกรนิต
ที่มา : www.thaifranchisecenter.com

2.1.1.6 กระเบื้องเติร์ทไฟร์ริ่ง เป็นกระเบื้องตกแต่งที่มีการเผาหลายครั้ง และเผาหลายอุณหภูมิ เพื่อให้เกิดความสวยงาม ได้จากการนำกระเบื้องปูพื้น บุผนัง หรืออื่นๆ ที่ผ่านการเผาแล้วมาทำการตกแต่งลวดลายเพิ่มเติมแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ผลิตกระเบื้องดังกล่าว อุณหภูมิที่ใช้เผานั้นขึ้นอยู่กับสีที่นำมาตกแต่ง อาจมีการเผามากกว่าหนึ่งครั้งก็ได้ ขึ้นกับชนิดของสีที่นำมาตกแต่ง กระเบื้องชนิดนี้จะใช้ตกแต่งควบคู่ไปกับกระเบื้องชนิดต่างๆ ที่นำมาเป็นพื้น เพื่อให้เกิดความสวยงามขึ้น ซึ่งลวดลายนั้นมีทั้งลายดอกไม้ ลายกราฟิก รูปการ์ตูน ภาพธรรมชาติ หรือแม้แต่ภาพอิมเพรสชั่นนิสก็ยังสามารถนำมาใช้กับกระเบื้องได้ การใช้งานมีได้ทั้งเป็นกระเบื้องตัดขอบ

(Border) หรือ เป็นกระเบื้องที่มีลวดลายแซมอยู่ทั่วไปของพื้นที่ (Spot Tile) ข้อควรระวังของกระเบื้องชนิดนี้ คือ ความทนทานของสีที่นำมาตกแต่งต่อการขูดขีด ต่อสารเคมีจะต่ำ ถึงแม้ว่าจะผ่านการเผามาแล้วก็ตาม

2.1.1.7 กระเบื้องที่ได้จากกระบวนการรีด (Extrude Tile or Spilt Tile) นั้น มีความแตกต่างของกระเบื้องชนิดนี้กับกระเบื้องที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นอยู่ที่ กระบวนการผลิต โดยกระเบื้องชนิดนี้จะขึ้นรูปโดยการนำดินที่มีความชื้นสูงมาเข้าเครื่องรีด ผ่านหัวแบบ (Die) ให้ได้รูปร่างตามแบบแล้วจึงตัดตามขนาดที่ต้องการ คุณสมบัติต่างๆ ของกระเบื้องหลังเผาแล้วก็จะใกล้เคียงกับกระเบื้องปูพื้นทั้งในเรื่องร้อยละการดูดซึมน้ำ ความแข็งแรง ความทนทานต่อสารเคมี แต่สิ่งที่กระเบื้องชนิดนี้ทำได้ยาก คือ ความหลากหลายของขนาดกระเบื้อง โดยเฉพาะกระเบื้องที่มีขนาดใหญ่ สำหรับลวดลาย และสีสันนั้น ได้มีการพัฒนาให้ลวดลายหลากหลายขึ้น จากเดิมที่มีเพียงการเคลือบสีเพียงอย่างเดียว ซึ่งตามท้องตลาดเราจะเริ่มเห็น (Spilt Tile) ที่มีลวดลายสวยงามเพิ่มขึ้น การใช้งานสามารถใช้ได้ทั้งภายใน และภายนอกอาคาร

2.1.1.8 กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ เป็นกระเบื้องที่ผลิตมาจากดินแดง หรือ เป็นดินที่มีร้อยละของเหล็กออกไซด์สูงมีทั้งการขึ้นรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัดดิน (Pressing) การอัดรีดดิน (Extruding) และการขึ้นรูปด้วยมือ มีร้อยละการดูดซึมน้ำสูง ทำให้ความแข็งแรงไม่สูงมากนัก เหมาะใช้สำหรับตกแต่งบ้านให้สวยงาม มากกว่าคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยที่แท้จริง มีราคาถูกกว่ากระเบื้องชนิดอื่นๆ ปัญหาที่พบได้มากในการใช้งานกระเบื้องประเภทนี้ คือ เรื่องความสกปรกบนผิวหน้า จะเกิดขึ้นได้ง่ายแต่กำจัดออกไปได้ยาก รวมทั้งการเกิดตะไคร่น้ำซึ่งจะทำให้ลื่นง่ายจะเกิดอันตรายกับผู้ใช้งานได้ จึงไม่เหมาะที่จะใช้งานในพื้นที่ภายนอกอาคารที่ถูกน้ำ ในพื้นที่ที่เปียกชื้นเสมอๆ และพื้นที่ที่ต้องรับแรงมาก



**รูปที่ 2.6** กระเบื้องเนื้อแดงไม่เคลือบ
ที่มา : www.kk-homecare.com

2.1.1.9 กระเบื้องที่มีรูปร่างพิเศษ (Special Shape) มีผู้ผลิตบางรายผลิตกระเบื้องที่มีรูปทรงพิเศษใช้สำหรับเป็นจมูกบันได ทำให้การปูกระเบื้องตามขั้นบันไดมีความสวยงามเพิ่มขึ้น และช่วยลดความคมของรอยต่อกระเบื้องบริเวณขอบบันไดได้

## 2.2 แก้ว

### 2.2.1 ศาสตร์แห่งแก้ว

แก้ว (Glass) เป็นองค์ประกอบของวัสดุที่มีอยู่มากมาย แก้วอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น หินออบซิเดียน (Obsidian) ที่มักพบบริเวณภูเขาไฟก็มีองค์ประกอบคล้ายๆ กับแก้วที่มนุษย์สร้างขึ้น หรือ เมื่ออุกาบาตชนโลก พลังงานความร้อน และแรงกระแทกได้ทำให้หินหลอมเหลวพุ่งกระจายขึ้นสู่ฟ้า และกลับลงมาในรูปของก้อนแก้ว ที่เรียกว่า เทกไทต์ (Tektite) เทกไทต์มีสีเขียวหรือ สีน้ำตาลดำ หรือ เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนกลางทรายจะเกิดเป็นฟุลกูไรท์ (Fulgurites) ซึ่งมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 - 30 มิลลิเมตร (mm.) ยาวหลายฟุต (ft.) มีเปลือกนอกที่เป็นแก้ว นั่นคือแก้วที่เกิดตามธรรมชาติ และมนุษย์ยุคหินก็รู้จักนำแก้วเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ ส่วนแก้วที่เกิดจากฝีมือมนุษย์นั้น ไม่มีใครรู้แน่นอนว่าเกิดขึ้นเมื่อไหร่ หลักฐานเก่าแก่ที่สุดที่พบ คือ ลูกปัดแก้วสีเขียว อายุประมาณ 5,500 ปีมาแล้ว แต่เชื่อกันว่าจุดกำเนิดของแก้วจะอยู่แถวๆ ตะวันออกกลาง หลักฐานในช่วงแรกพบที่อียิปต์ และดินแดนที่เป็นประเทศอิรักในปัจจุบัน นอกจากนั้นยังพบหลักฐานการทำแก้วในกรีซ จีน และตอนเหนือของ ไทรอล (Tyrol)

เชื่อกันว่าการทำแก้วสมัยโบราณเกี่ยวพันอย่างใกล้ชิดกับการปั้นหม้อที่เคยเจริญรุ่งเรืองในตอนเหนือของอียิปต์เมื่อราวๆ 10,000 ปีก่อน เพราะขณะเผาหม้อทรายที่มีหินปูน (แคลเซียม-คาร์บอเนต, $CaCO_3$) เป็นองค์ประกอบจะรวมตัวกับโซดา (Soda) และได้รับความร้อนสูงกลายมาเป็นการเคลือบสีบนภาชนะเซรามิกก็เป็นได้

ในแก้วมีสารต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบ และลักษณะพันธะก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของสารนั้นๆ ซึ่งส่งผลไปยังลักษณะทางเคมี และกายภาพของแก้ว แท้จริงแล้วลักษณะความเป็นแก้ว (Glassy State) ไม่ได้มีเฉพาะในสารประกอบออกไซด์เท่านั้น แต่อาจเกิดกับสารประกอบซัลเฟอร์ (S) และซีลิเนียม (Se) ได้อีกด้วย

แก้ว คือ ผลิตภัณฑ์ของสารอนินทรีย์ที่หลอมเหลว และเย็นตัวลงโดยไม่ผ่านขั้นตอนการตกผลึก หรือ เป็นของเหลวที่ถูกแช่แข็งในความเย็นยิ่งยวด หมายถึง วัสดุใดๆ ที่มีโครงสร้างเหมือนของเหลว แต่เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้องจะมีสภาพไม่ต่างจากของแข็ง

แก้วมีพฤติกรรมเหมือนของเหลวที่หนืดมาก มักจะเปลี่ยนรูปร่างไปตามแรงกระทำจากภายนอกได้อย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิปกติ เราไม่อาจสังเกตปรากฏการณ์นี้ได้ด้วยตาเปล่า แต่ทราบได้ด้วยการคำนวณเท่านั้น

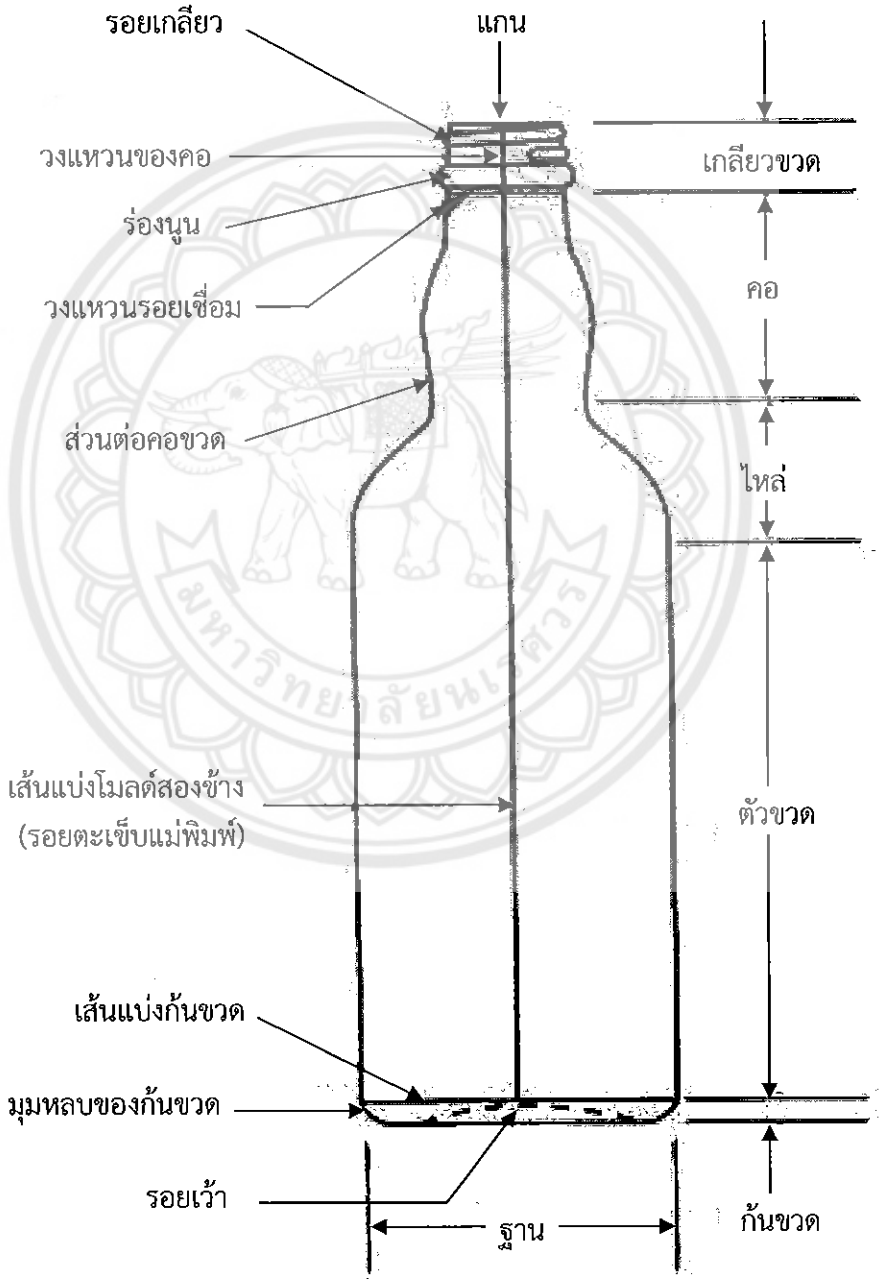
### 2.2.2 บรรจุภัณฑ์แก้ว

วัสดุแก้ว เชื่อว่ามีการค้นพบ และใช้มาประมาณ 7,000 ปีก่อนคริสตกาล แก้วผลิตได้จากการหลอมเหลววัสดุต่างๆ ดังนี้ หินปูน (Limestone) ประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก มีโซเดียม-ออกไซด์ ประมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก มีซิลิเกตประมาณร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก และมีวัสดุอื่นๆ ตัวอย่าง เช่น อลูมิเนียม (Al), โปแตสเซียม, แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) นำไปหลอมละลายด้วยความร้อนในอุณหภูมิที่สูงประมาณ 5,702 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปเป่าขึ้นรูปตามแบบเป็นภาชนะบรรจุรูปแบบต่างๆ ตามต้องการ เช่น ขวด แก้วน้ำ จาน ชาม เป็นต้น

แก้วมีสมบัติทางกายภาพใสสะอาด และปลอดภัย ทนความร้อนได้สูง มีอายุการใช้งานนาน แต่มีน้ำหนักมาก และแตกได้ง่าย เมื่อเลิกใช้แล้วสามารถนำไปทำความสะอาด แล้วนำกลับมาทำเป็นบรรจุภัณฑ์ใหม่ได้ หรือ นำขวดแก้วที่แตกหักชำรุดไปบดเป็นเศษแก้วกลับสู่กระบวนการหลอม

แก้วผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ หมุนเวียนผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ใหม่ต่อไปได้อีก เศษแก้วช่วยประหยัดพลังงานในการหลอมวัตถุดิบได้ร้อยละ 25 - 32 ผู้ผลิตแก้วในประเทศซื้อเศษแก้วใช้เป็นวัตถุดิบวันละกว่า 1 ล้านบาท

สีของแก้วที่นิยมผลิตมี 3 สี คือ สีใสเป็นสีที่ใช้กันมากที่สุด สีอำพัน (สีน้ำตาล) มีสมบัติในการกรองรังสีอุลตร้าไวโอเลตได้ดี จึงนิยมใช้เป็นขวดเบียร์ และขวดยาบางประเภท สีเขียวมีสมบัติคล้ายขวดสีอำพัน มักใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม




**รูปที่ 2.7** ขวดแก้ว
ที่มา : www.mtec.or.th

**2.2.3 ชนิดของแก้ว**

การแบ่งประเภทของแก้วสามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แบ่งองค์ประกอบทางเคมี หรือ แบ่งตามการใช้งาน แต่โดยส่วนใหญ่แล้ว มักจะบอกประเภทของแก้ว ตามองค์ประกอบของแก้ว ดังนี้

**2.2.3.1 แก้วโซดาไลม์**

แก้วโซดาไลม์ เป็นแก้วที่มีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิเกตร้อยละ 71 - 75 โดยน้ำหนัก เหมือนแก้วอื่นๆ แต่มีโซเดียมออกไซด์ร้อยละ 12 - 16 โดยน้ำหนัก กับปูนขาว (Lime) หรือแคลเซียมออกไซด์ (Lime ที่ได้นั้น เตรียมจากหินปูน หรือ แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนัก) อยู่ในปริมาณมากด้วย ซึ่งบางครั้งอาจมีการเติมวัตถุดิบอื่นเข้าไป เพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่เฉพาะขึ้น เช่น สารให้สี เป็นต้น ในบางครั้งอาจมีการแทนแคลเซียมด้วยแมกนีเซียมในหินปูน หรือ การแทนที่โซเดียม ด้วยโปแตสเซียมในโซเดียมออกไซด์ ยังจัดว่าเป็นแก้วชนิดโซดาไลม์อยู่

แก้วโซดาไลม์มีราคาถูก หลอมละลายง่าย ถูกใช้ทำขวดน้ำขนาดต่างๆ ทั้งชนิดใส และมีสี แก้วน้ำซึ่งเราสามารถพบเห็นได้ทั่วไป และใช้ทำกระจกแผ่น กระจกหน้าต่าง ซึ่งสามารถนำไปทำกระจกนิรภัย (Safety Glass) กระจกกันกระสุน (Bullet Proof Glass) และลูกถ้วยไฟฟ้า

รูปที่ 2.8 ขวดแก้วโซดาไลม์
ที่มา : www.packingsiam.com

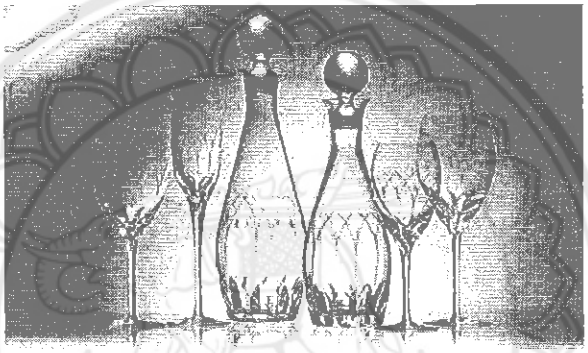
สมบัติทางเคมี และกายภาพของแก้วโซดาไลม์ทำให้แก้วชนิดนี้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง ความใสของแก้วโซดาไลม์ทำให้ถูกนำไปใช้ทำกระจกหน้าต่าง นอกจากนั้นความเรียบและไม่มีรูพรุนของพื้นผิว ทำให้ขวดน้ำ หรือ ภาชนะที่ทำจากแก้วชนิดนี้ทำความสะอาดได้ง่าย ภาชนะจากแก้วโซดาไลม์ใส่น้ำ เครื่องดื่ม อาหารโดยรสชาติ ไม่เปลี่ยนแปลง และไม่มีสิ่งอันตรายใดๆ ปนเปื้อน

ปริมาณของอัลคาไลด์ (Alkaline) ที่สูงมากในแก้วโซดาไลม์ ส่งผลให้จุดหลอมเหลวของแก้วโซดาไลม์ลดต่ำลง แต่ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Thermal-Expansion Coefficient, a) จะเพิ่มประมาณ 20 เท่า จาก $0.5 \times 10^{-6}$ / K ถึง $9 \times 10^{-6}$ / K ซึ่งแก้วโซดาไลม์เป็นแก้วชนิด SoftGlass (แก้วมีค่า a ต่ำกว่า $6 \times 10^{-6}$ / K จะเรียกว่า Hard Glass) เพราะมีค่า Thermal Expansion สูง ความต้านทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันย่อมมีค่าน้อย ดังนั้น ต้องดูแลอย่างมากในขณะใช้งาน โดยเฉพาะเมื่อนำไปบรรจุของเหลวที่อุณหภูมิสูง

2.2.3.2 แก้วตะกั่ว

ถ้าหากแทนที่ปูนขาวด้วยตะกั่วออกไซด์จำนวนมาก จะได้ผลิตภัณฑ์แก้วชนิดที่เป็นที่รู้จักกันดีว่า Lead Crystal โดยที่แก้วชนิดนี้ประกอบด้วยซิลิเกตร้อยละ 54 - 65 โดยน้ำหนัก, ออกไซด์ของตะกั่วร้อยละ 18 - 38 โดยน้ำหนัก, มีโซเดียมออกไซด์ร้อยละ 13 - 15 โดยน้ำหนัก หรือโปแตสเซียมออกไซด์ และสารประกอบออกไซด์ชนิดอื่นๆ แก้วที่มีออกไซด์ของตะกั่วน้อยกว่าร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก เรียกแก้วที่ได้นี้ว่า แก้วผลึก อาจมีการเติมแบเรียม (Barium, Ba) สังกะสี (Zinc, Zn) และโปแตสเซียมออกไซด์ลงไปในปริมาณที่แตกต่างกัน

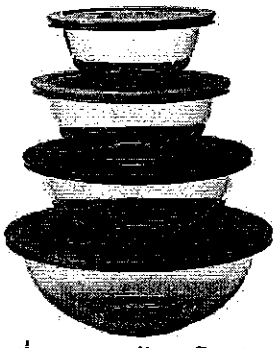
แก้วที่มีตะกั่วมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) สูงกว่าแก้วโซดาไลม์ มีค่าดัชนีการหักเหของแสง สูงกว่าแก้วชนิดอื่นๆ (High Refractive Index) ทำให้มีประกายแวววาวสวยงาม และเหมาะที่จะนำไปตกแต่งด้วยการตัด เจียระไน และแกะสลักลวดลายต่างๆ จะให้ประกายที่ใสบริสุทธิ์ ไม่มีสี หรือ ถ้ามีสี ก็ต้องเป็นสีที่สดใส เมื่อเคาะจะมีเสียงดังกังวาน



รูปที่ 2.9 แก้วตะกั่ว
ที่มา : www.packingsiam.com

2.2.3.3 แก้วบอโรซิลิเกต

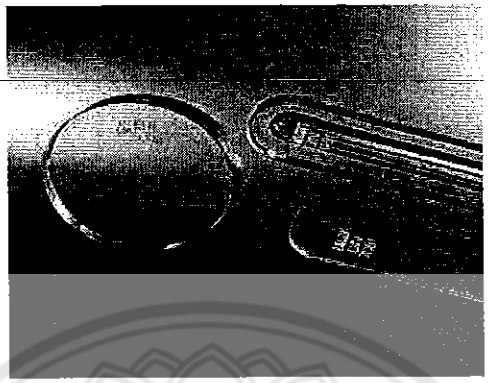
แก้วบอโรซิลิเกต เป็นแก้วที่มีการเติมบอริกออกไซด์ลงไป ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และทนต่อการเปลี่ยนแปลงความร้อน แก้วที่ได้สามารถนำไปใช้ทำเครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ ทำภาชนะแก้วสำหรับใช้ในเตาไมโครเวฟ เป็นต้น



**รูปที่ 2.10 แก้วบอโรซิลิเกต**
ที่มา : www.packingsiam.com

2.2.3.4 แก้วอลูมิโนซิลิเกต (Alumino Silicate Glass)

มีอลูมินา และซิลิกาเป็นส่วนผสมหลัก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ และมีจุดอ่อนตัวของแก้ว (Softening Point) สูงพอที่จะป้องกันการเสียรูปทรงเมื่อทำการอบ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผลิตภัณฑ์



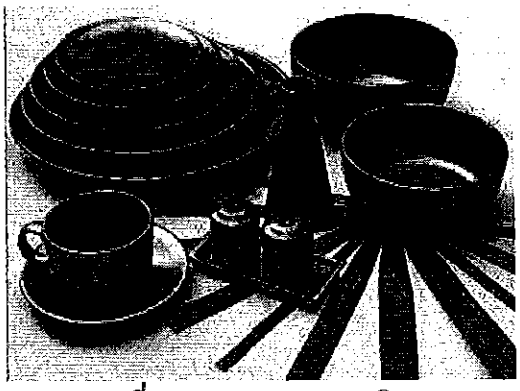
รูปที่ 2.11 แก้วอลูมิโนซิลิเกต
ที่มา : www.packingsiam.com

2.2.3.5 แก้วอัลคาไลน์ - เอิร์ท อลูมิโนซิลิเกต (Alkaline-Earth Alumino - silicate)

มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์ หรือ แบเรียมออกไซด์ (BaO) ซึ่งทำให้มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับแก้วตะกั่ว แต่ผลิตง่ายกว่า และมีความทนทานต่อกรด และด่างมากกว่าแก้วตะกั่วเล็กน้อย

2.2.3.6 กลาส - เซรามิก (Glass-Ceramics)

กลาส - เซรามิก เป็นแก้วประเภทลิเธียมอลูมิโนซิลิเกตที่มีไททาเนียมไดออกไซด์ ($TiO_2$) หรือ เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ($ZrO_2$) ผสมอยู่เล็กน้อยซึ่งจะทำให้เกิดผลึกในเนื้อแก้ว ซึ่งอาจทำให้แก้วมีความทึบแสง หรือ โปร่งใส ขึ้นกับชนิดของผลึก กลาสเซรามิกจะทนทาน และมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำมาก สามารถนำไปใช้เป็นภาชนะหุงต้ม หรือ เป็นแผ่นบนเตาหุงต้มได้



รูปที่ 2.12 กลาส - เซรามิก
ที่มา : www.packingsiam.com

## 2.3 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ หมายถึง สารประกอบอย่างหนึ่งมีลักษณะเป็นผงละเอียด เมื่อนำมาผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่พอเหมาะ และทิ้งไว้ระยะหนึ่งจะทำปฏิกิริยา และแข็งตัว โดยมนุษย์ในสมัยโบราณ ได้ค้นพบว่าเมื่อนำหินบางชนิดมาทำการเผาจนหินเกิดการสลายตัวกลายเป็นผง แล้วทำการบดจนละเอียด เมื่อนำมาผสมน้ำทิ้งไว้ระยะหนึ่ง ก็จะได้ผลผลิตที่มีความแข็งเป็นก้อน เป็นรูปร่างตามที่ต้องการ ปูนซีเมนต์ในปัจจุบันทำจากวัตถุดิบที่มีธาตุ อะลูมิเนียม ซิลิเกต ซึ่งได้แก่ ดินดำ ดินขาว หรือศิลาแลง ซึ่งมีธาตุเหล็กมาผสมเข้าด้วยกัน

### 2.3.1 กำเนิด "ปูนซีเมนต์"

ประวัติความเป็นมา คำว่า ซีเมนต์ (Cement) มาจากภาษาละติน ซึ่งแปลว่า "ตัด" โดยใช้เรียกหินปูนที่ตัดเป็นชิ้นๆ เพื่อจะนำมาเผาเป็นปูนขาว

ในปัจจุบัน ซีเมนต์ หมายถึง ตัวประสานวัสดุสองชนิด หรือ หลายๆ ชนิดให้ติดแน่น ในสมัยโบราณชาวอียิปต์ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการสร้างพีระมิด โดยได้มาจากการเผาดินและยิปซัม ส่วนชาวกรีก และชาวโรมันใช้เถ้าภูเขาไฟบดรวมกับปูนขาว ทราย และน้ำผสมเข้าด้วยกัน เรียกว่า ปอซโซลานิกซีเมนต์ (Pozzolanic Cement) ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาทางเคมี และแข็งตัวได้ในน้ำ ตัวอย่างเช่น สิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่สร้างโดยชาวโรมัน อาทิ มหาวิหารทรงกลมในกรุงโรม (Roman Pantheon) และโรงละครครึ่งวงกลม (Colosseum) เป็นต้น

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งซึ่งประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ ผสมกับวัสดุผสมซึ่งได้แก่ ทราย หิน หรือ กรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งนานพอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเต็มที่แล้ว จะมีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้มาก ทั้งนี้จะแปรไปตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

ซีเมนต์ และคอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมาเป็นเวลายาวนาน จากหลักฐานพบว่าในยุคต้นๆ ตั้งแต่ 7,600 ปีที่ผ่านมา มีการใช้ซีเมนต์ในรูปของคอนกรีต เพื่อทำพื้นกระท่อมของชาวประมงที่อยู่บริเวณริมฝั่งแม่น้ำดานูบ และกระท่อมของพวกนักล่าสัตว์สมัยยุคหินหลังจากนั้นได้มีการพัฒนาซีเมนต์ และคอนกรีตอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่ง มีชื่อเต็มว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเทา สามารถก่อตัว และแข็งตัวได้ในน้ำ จึงใช้หล่อในแบบให้เป็นรูปร่างต่างๆ ตามที่ต้องการ

ผู้ผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นคนแรก คือ โจเซฟ แอสปดิน (Joseph Aspdin) ชาวอังกฤษ เมื่อประมาณ 170 ปีมาแล้ว เขาได้นำฝุ่นดินกับหินปูนมาเผารวมกัน แล้วนำมาบดจนละเอียด ผลที่ได้เมื่อผสมน้ำ และแข็งตัวแล้ว จะเป็นก้อนสีเหลืองเทาเหมือนก้อนหินจากเหมืองของเมืองปอร์ต-แลนด์ (Portland) ประเทศอังกฤษจึงเรียกชื่อว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และได้จดทะเบียนสิทธิบัตรการผลิตไว้เป็นหลักฐาน

ภายหลังจากนั้นอีกประมาณ 30 ปี จึงได้มีผู้พบว่า ถ้าเผาส่วนผสมให้มีอุณหภูมิสูงมากจนส่วนผสมเยิ้มตัว จะได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของประเทศเยอรมนียังได้นำปูนเม็ดมาบดให้เป็นผง ทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพดีขึ้นไปอีก

ในปัจจุบัน การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถทำได้สองวิธี คือ วิธีเปียก และวิธีแห้ง โดยวิธีแห้งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก เพราะเป็นวิธีที่เหมาะสำหรับการผลิตจำนวนมาก การผลิตทำได้โดยการบดวัตถุดิบซึ่งมีหลายชนิด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต บดจนได้เป็นผงละเอียดเรียกว่า วัตถุดิบ-สำเร็จ (Raw Meal) แล้วส่งเข้าเตาเผา (Rotary Kiln) เตาเผาเป็นท่อขนาดใหญ่ วางเป็นมุมเอียง และหมุนรอบตัวช้าๆ ปล่อยวัตถุดิบให้ไหลมาในท่อทางด้านต่ำ สวนทางกับไฟที่พ่นเข้าไป โดยใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง เผาจนวัตถุดิบเยิ้มตัวที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาเรียกว่า ปูนเม็ด (Clinker) เมื่อนำปูนเม็ดไปบดให้ละเอียด แล้วผสมกับแร่ยิปซัม (Gypsum) ลงไปประมาณร้อยละ 3 - 5 โดยน้ำหนัก ก็จะได้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามที่ต้องการ การผสมยิปซัมลงไปจะช่วยให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถแข็งตัวได้ช้าลงเมื่อนำไปใช้งาน

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตได้นี้ ใช้มากในการหล่อคอนกรีตเสริมเหล็ก และคอนกรีตอัดแรง คอนกรีตเสริมเหล็กมีส่วนผสมเป็นหินย่อย ทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำ เมื่อผสมส่วนผสมตามสัดส่วนที่ต้องการแล้ว เทส่วนผสมที่ยังเปียกอยู่ลงในแบบที่มีเหล็กข้อผูกเป็นโครงอยู่ภายใน ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วแกะแบบออก จะได้คอนกรีตเสริมเหล็กที่มีสมบัติเชิงกลที่แข็งแรง ทนทาน สามารถรับน้ำหนักได้มาก และไม่ติดไฟ นอกจากนั้นยังสามารถทำให้มีรูปร่างทุกอย่างได้ตามต้องการอีกด้วย คอนกรีตเสริมเหล็กจึงมีประโยชน์อย่างมากในการก่อสร้างเกือบทุกประเภท

ส่วนคอนกรีตอัดแรงนั้น ต้องใช้ลวดเหล็กที่ทำขึ้นเป็นพิเศษแทนเหล็กหล่อธรรมดา ทำให้ได้คอนกรีตอัดแรงที่มีความแข็งแรง และมีน้ำหนักมากกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้ในการก่อสร้างคานช่วงยาวๆ ของสะพาน หลังคา และพื้นได้เป็นอย่างดี

2.3.2 ชนิด และสมบัติของปูนซีเมนต์

ซีเมนต์ตามความหมายทางวิศวกรรมโยธานั้น ได้แบ่งประเภทของปูนซีเมนต์ออกเป็น 2 ชนิด คือ บิทูมินัส (Bituminous) และนันบิทูมินัส (Non Bituminous) โดยบิทูมินัสซีเมนต์นี้ ได้แก่ ยางมะตอย (Asphalts) และน้ำมันดิน (Tars) เราใช้บิทูมินัสซีเมนต์ผสมกับหิน ทราย เพื่อทำผิวถนน และเรียกส่วนผสมนี้ว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)

นันบิทูมินัสซีเมนต์ ได้แก่ อะลูมินาซีเมนต์ (Alumina Cement) และปูนซีเมนต์ปอร์ต-แลนด์ มีลักษณะเป็นผงสีเทาอ่อนต้องผสมน้ำในปริมาณมากพอสมควร แล้วทิ้งไว้ให้แห้งจึงจะแข็งตัว มักจะนิยมเรียกซีเมนต์ชนิดนี้ว่า ไฮดรอลิกซีเมนต์ (Hydraulic Cement) ทั้งนี้เนื่องมาจากต้องใช้น้ำผสม และแข็งตัวในน้ำได้ ดังนั้น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จึงเป็นที่นิยมใช้ในการก่อสร้างมากที่สุด ในที่นี้จะกล่าวถึงชนิด และคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แบ่งเป็น 5 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น ทำผิวถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีข้อเสีย คือ ไม่ทนต่อสารที่เป็นด่าง จึงไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องสัมผัสกับด่างจากดิน หรือ น้ำ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ เมื่อได้ทำการผสมกับน้ำจะคายความร้อนออกมาน้อยกว่าประเภทธรรมดา และมีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้บ้าง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อน หรือ กำแพงกันดินในบริเวณที่ถูกน้ำเค็มเป็นครั้งคราว

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้จะมีความละเอียดมากกว่า เป็นผลทำให้แข็งตัว และรับแรงได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่ง จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องแข่งกับเวลา หรือ ในกรณีที่ต้องการถอด หรือ รื้อแบบเร็วกว่าปกติ

ประเภทที่ 4 เหมาะกับงานที่ต้องการควบคุมทั้งปริมาณ และอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ในประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ ดังนั้นจึงนิยมใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำ ซึ่งถ้ามีความร้อนเกิดขึ้นมาก จะมีผลอย่างร้ายแรงต่อตัวเขื่อน เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตก หรือ ร้าวได้

ประเภทที่ 5 มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้สูง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่ต้องสัมผัสกับด่าง เช่น ในบริเวณที่ดินมีความเป็นด่างสูง หรือ น้ำทะเล ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้ากว่าประเภทอื่นๆ

นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แล้ว ยังมีปูนซีเมนต์ชนิดอื่นที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement) ได้จากการบดปูนเม็ดกับยิปซัม และวัสดุเฉื่อยซึ่งไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ เช่น หินปูน หรือ ทราย เป็นต้น ปูนซีเมนต์ผสมเหมาะกับงานก่อโบก ฉาบ หรือ งานก่อสร้างทั่วไปที่ไม่ต้องการรับน้ำหนักมาก

ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) วัตถุดิบหลัก คือ หินปูน และวัตถุดิบอื่นที่มีปริมาณของแร่เหล็กน้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ลักษณะของปูนซีเมนต์ที่ได้เป็นสีขาว ปูนซีเมนต์ขาวเป็นที่นิยมนำไปใช้ในงานตกแต่งอาคาร เพื่อความสวยงาม หรือ อาจนำไปผสมเม็ดสี (Pigment) เพื่อผลิตเป็นปูนซีเมนต์สี (Colour Cement)

2.3.3 ประเภทของปูนซิเมนต์และการใช้งาน

2.3.3.1 ปูนซีเมนต์เทา (Gray Cement)

ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาเป็น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งที่นิยมใช้กันทั่วไปทั้งในอุตสาหกรรม และอาคารขนาดเล็ก

คุณสมบัติ : ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 - 2532 และสมาคมอเมริกัน เพื่อการทดสอบ และวัสดุ (American Society For Testing And Materials หรือ ASTM C150)

การใช้งาน : ใช้ในงานก่อสร้างที่ต้องการ กำลังอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีตสูงๆ เช่น งานโครงสร้างขนาดใหญ่ ถนน เขื่อน สะพาน และผลิตภัณฑ์คอนกรีต เช่น บล๊อกผนัง บล๊อกปูถนน กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน แผ่นพื้นสำเร็จรูป และท่อน้ำ

ข. ปูนซีเมนต์สำหรับงานขุดเจาะบ่อน้ำมัน (Oil Well Cement)

มีความต้านทานต่อซัลเฟตสูง เหมาะสำหรับงานก่อสร้างในทะเลริมทะเล หรือ บนดินเค็ม รวมทั้งงานอัดฉีดน้ำปูนประสานรอยร้าวในฐานราก ทั้งนี้เพราะความเค็ม และความเปรี้ยวจะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม ผุกร่อนง่าย จึงมีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ขึ้นมา

คุณสมบัติ : ตามมาตรฐานของ API Specification 10 A (API = American Petroleum Institute) คุณสมบัติที่สำคัญ คือ ต้องมีความหนืดต่ำในช่วงต้น เพื่อให้สามารถสูบไปได้ในระดับความลึกที่ต้องการ และแข็งตัวได้รวดเร็วภายในเวลาที่กำหนด ทนทานต่ออุณหภูมิ ความดัน และการกัดกร่อนของน้ำทะเล

การใช้งาน : เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมงาน ขุดเจาะบ่อน้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ

ค. ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement)

ปูนซีเมนต์ ที่ได้จากการผสมวัสดุเฉื่อย เช่น ทราย หรือ หินปูน ลงไปบดพร้อมกับ ปูนเม็ด ของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

คุณสมบัติ : ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 80 - 2517

การใช้งาน : เหมาะกับงานก่ออิฐ ฉาบปูน เนื่องจากมีความลื่น ทำงานง่าย มีการยืดหดตัวน้อย ทำให้พื้นผิวสวยเรียบ คงทน ไม่หลุดล่อน นิยมใช้กับงานก่อสร้าง อาคารบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง และงานปั้น เป็นต้น

2.3.3.2 ปูนซีเมนต์ขาว (White Cement)

ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สีขาว (White Portland Cement)

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง ซึ่งมีสีขาววัตถุดิบหลัก คือ หินปูน และวัตถุดิบอื่นที่มีปริมาณของแร่เหล็กน้อยกว่า ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ลักษณะของปูนซีเมนต์ที่ได้เป็นสีขาว ปูนซีเมนต์ขาวเป็นที่นิยมใช้ในงานตกแต่งอาคาร เพื่อความสวยงาม หรือ นำไปผสมเม็ดสีเพื่อผลิตเป็นปูนซีเมนต์สี

คุณสมบัติ : ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 133 - 2518 ซึ่งให้กำลังการยึดเกาะสูง สามารถใช้ผสมกับแม่สีที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์

การใช้งาน : เหมาะที่จะใช้กับงาน ตกแต่งอาคาร ห้องน้ำ สระว่ายน้ำ หินขัด หินล้าง ทรายล้าง กรวดล้าง และใช้ในการทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องการความสวยงามควบคู่กับความแข็งแรงทนทาน

ข. ปูนซีเมนต์ผสมสีขาว (White Mixed Cement)

เป็นปูนที่มีวัสดุเฉื่อย เช่น ทราย หรือ หินปูน บดละเอียดแล้วผสมรวมกัน

การใช้งาน : เหมาะสำหรับใช้ในงานตกแต่ง และยาแนวกระเบื้อง เพราะมีสมบัติเหนียว ยึดเกาะได้ดี มีระยะเวลาแห้งตัวพอเหมาะกับการใช้งาน และมีการยืดหดตัวน้อย ทำให้ได้ผลงานที่สวยงามไม่หลุดล่อน

2.3.3.3 ปูนสำเร็จรูป

คือ วัสดุผสมระหว่างปูนซีเมนต์ วัสดุคละ และสารเคมีชนิดพิเศษที่มีการคัดเลือกให้เหมาะสมกับประเภทของงาน โดยส่วนผสมต่างๆ จะผลิตสำเร็จจากโรงงาน ให้อยู่ในสภาพเตรียมพร้อมสำหรับการใช้งาน ซึ่งมีหลายประเภท เหมาะกับการใช้งานได้หลากหลาย ผู้ใช้งานเพียงแต่ผสมน้ำให้ตรงตามสัดส่วนที่กำหนดก็สามารถนำมาใช้งานได้ทันที

ก. ปูนก่อ (Masonry Mortar)

ปูนก่อ ใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ 1 ส่วนกับทรายละเอียด หรือ ปานกลางที่สะอาด 3 ส่วนด้วยการตวงผสมให้เข้ากัน แล้วใส่น้ำให้มีความข้นเหลวพอเหมาะ

คุณสมบัติ : ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนก่อ มอก. 598 – 2528

การใช้งาน : เหมาะสำหรับ งานก่อผนัง ต่างๆ เช่น ผนังก่อ อิฐมอญ หรือ คอนกรีตบล็อค เนื่องจากมีสารผสมของสารเคมีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเพิ่มการทรงตัวของเนื้อปูนขณะใช้งาน และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะ ทำให้ผนังแข็งแรงทนทาน

ข. ปูนฉาบ (Plastering Mortar)

ใช้ได้ทั้งภายใน และภายนอกอาคาร มีส่วนประกอบของสารผสมเพิ่มความอุ้มน้ำจึงช่วยลดการแตกร้าว สารเพิ่มฟองอากาศ เพื่อให้ฉาบลื่น และสารยืดระยะเวลาก่อตัว ใช้ส่วนประกอบหินปูนบดที่มีขนาด 0.15 - 0.3 มิลลิเมตร เป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้หลังจากฉาบแล้วจะได้พื้นผิวที่เรียบเนียนเป็นพิเศษไม่เป็นเม็ด พร้อมที่จะทาสี หรือ ทำการตกแต่งต่อไป หรือ ใช้ในงานแต่งเปลือยโดยไม่ทาสี เนื่องจากใช้ส่วนผสมของหินปูนบด ทำให้ผิวที่ฉาบมีสีขาวนวลเป็นพิเศษ

คุณสมบัติ : ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอร์ต้า สำหรับฉาบ มอก. 1776 - 2542 มีส่วนผสมของวัสดุยึดประสาน วัสดุคละ และสารเคมีผสมพิเศษ ที่ทำให้ฉาบง่ายและอุ้มน้ำ นอกจากนี้ยังเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะ ลดการแตกร้าวได้ โดยทั่วไปสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

ค. ปูนฉาบทั่วไป (General Plaster Mortar)

ปูนสำเร็จรูป ใช้สำหรับงานฉาบผนังอิฐมอญ หรือ อิฐบล็อก ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร มีส่วนประกอบของสารผสมเพิ่มความอุ้มน้ำ จึงช่วยลดการแตกร้าว สารเพิ่มฟองอากาศ เพื่อให้ฉาบลื่น และสารยืดระยะเวลาก่อตัว หลังจากฉาบแล้วจะได้พื้นผิวที่เรียบเนียน พร้อมที่จะทาสี หรือ ทำการตกแต่งต่อไป หรือ ใช้ในงานแต่งเปลือยโดยไม่ทาสี เนื่องจากใช้ส่วนผสมของหินปูนบด ทำให้ผิวที่ฉาบมีสีขาวนวล

การใช้งาน : เหมาะสำหรับงานผนังทั่วไป ที่ต้องการความสะดวก ผนังฉาบเรียบ และสวยงาม ใช้ได้กับผนัง หรือ คอนกรีตบล็อค ทุกประเภททั้งภายใน และภายนอกอาคาร

2.3.3.4 กาวซีเมนต์ (Tile Adhesive)

ก. กาวซีเมนต์ปูกระเบื้องเซรามิก (Tile Adhesive for Ceramic Tiles)

ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ผสมกับหินปูนบดละเอียดและสารเคมีต่างๆ ทำให้มีแรงยึดเกาะมากกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดา

คุณสมบัติ : การยึดเกาะตัวสูง ยึดหดตัวน้อย สามารถทำงานได้รวดเร็ว ประหยัดเวลา และแรงงาน ลดการเกิดคราบเชื้อรา หรือ คราบน้ำมันที่ทำให้กระเบื้องหลุดล่อนภายหลัง

การใช้งาน : สำหรับใช้ในงานปูกระเบื้องเซรามิกโดยเฉพาะ ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร

ข. กาวซีเมนต์ปูหินอ่อนแกรนิต หรือ กระเบื้องเซรามิกขนาดใหญ่ (Tile Adhesive for Marble, Granite and Large Ceramic Tiles)

ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ผสมกับหินปูนบดละเอียดและสารเคมีพิเศษต่างๆ ทำให้มีแรงยึดเกาะสูงมากขึ้น

คุณสมบัติ : เหมือนกับคุณสมบัติของกาวซีเมนต์ปูกระเบื้องเซรามิก แต่ให้แรงยึดเกาะที่สูงกว่า

การใช้งาน : เหมาะใช้งานปูกระเบื้องเซรามิกขนาดใหญ่ แผ่นหินอ่อน หรือ หินแกรนิต และยังช่วยลดคราบขาวของเกลือ (Efflorescence) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของน้ำฝนกับปูนซีเมนต์บนหินอ่อน หรือ หินแกรนิต

ค. กาวซีเมนต์ใช้สำหรับปูทับพื้นเดิม (Tile Adhesive for Application Over Existing Tiles)

ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง ผสมกับหินปูนบดละเอียด และสารเคมีผสมพิเศษต่างๆ ที่ทำให้มีแรงยึดเกาะมากเป็นพิเศษ

คุณสมบัติ : เหมือนกับคุณสมบัติของ กาวซีเมนต์ 2 ชนิดแรก แต่ให้แรงในการยึดเกาะที่สูงที่สุด

การใช้งาน : เหมาะใช้งานปูทับพื้นผิวเดิม เช่น กระเบื้องเซรามิก กระจกยิปซั่ม และปูบนพื้นที่ที่มีแรงสั่นสะเทือน เช่น อาคารใกล้ถนนที่มีรถบรรทุกหนักแล่นผ่าน ประหยัดเวลา และแรงงานรื้อกระเบื้องเดิม

ง. กาวยาแนว (Tile Grout)

ได้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สีขาวผสมกับหินปูนบดละเอียด และสารเคมีผสมพิเศษที่ช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะลดการแตกร้าว ลดการซึมผ่านของน้ำ และผสมสีต่างๆ ให้สวยงาม

การใช้งาน : เหมาะใช้งานตกแต่ง หรือ ยาแนว กระเบื้องเซรามิก โมเสก หินอ่อน แกรนิต และสุขภัณฑ์ สามารถเลือกสีได้ตามต้องการ

2.3.4 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ขาวมีดังนี้

2.3.4.1 บดย่อยหินปูน เกาลินไนต์ และยิปซัม

ซึ่งมีขนาดใหญ่จะถูกลำเลียงแยกส่วนส่งเข้าเครื่องบดย่อย ให้มีขนาดเล็กลง เหมาะแก่การลำเลียงเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตขั้นต่อไป

2.3.4.2 การปรับสัดส่วน

กระบวนการจัดอัตราส่วนของหินปูน เกาลินไนต์ และทรายให้ได้สัดส่วนผสมที่เหมาะสม

2.3.4.3 การบดให้ละเอียด

กระบวนการบดผสมให้ได้วัตถุดิบผง

2.3.4.4 การผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

วัตถุดิบผงที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่ระบบหมุนเวียนผสม เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่คงที่สม่ำเสมอ

2.3.4.5 การเผาวัตถุดิบผงที่ผสมกันจนเป็นเนื้อเดียว

จะถูกลำเลียงเข้าสู่เตาเผาที่มีอุณหภูมิประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ออกมาเป็นปูนเม็ด

2.3.4.6 การลดอุณหภูมิและทำให้แห้ง

ปูนเม็ดที่ได้ที่อุณหภูมิสูง และร้อนจัดจะถูกส่งเข้ากระบวนการลดอุณหภูมิและกระบวนการอบไล่ความชื้น

2.3.4.7 การปรับสัดส่วน

กระบวนการจัดอัตราส่วนของปูนเม็ด และยิปซัมให้ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง

**2.3.4.8 การบดละเอียดขั้นสุดท้าย และการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน**

ส่วนผสมของปูนเม็ด และยิปซัมจะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการบดละเอียด และกระบวนการหมุนเวียนผสม เพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ขาวที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ

**2.3.4.9 การบรรจุ**

เป็นการบรรจุปูนซีเมนต์ขาวใส่ถุงกระดาษขนาด 50 กิโลกรัม (kg)

(บุญธรรม, 2549)

---

**2.3.5 ชนิดของปูนซีเมนต์ขาวที่ผลิตในไทย**

**2.3.5.1 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ**

เป็นปูนซีเมนต์ขาวผสม ที่มีสมบัติด้านการยึดเกาะที่ดี และมีระยะเวลาแห้งตัวที่เหมาะสมในการตกแต่งผลงาน เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์เทาผสมงานฉาบ แต่เหนือกว่าด้วยเนื้อปูนสีขาวบริสุทธิ์ที่ให้ความสวยงามเป็นธรรมชาติ อีกทั้งสามารถผสมสีสัน ประยุกต์ใช้วัสดุผสม และวิธีการตกแต่งผลงานก็ยังสามารถทำอย่างหลากหลาย จึงให้อิสระในการสร้างสรรค์งานฉาบ และงานตกแต่งอื่นๆ ควบคู่ไปกับผลงานที่มีคุณภาพ และความประณีตสวยงามคุณสมบัติเด่น ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

ก. เนื้อปูนเหนียวลื่น มีกำลังการยึดเกาะสูง

ข. ระยะเวลาแห้งตัวเหมาะสม ทำให้มีเวลาตกแต่งผลงานได้ประณีตสวยงาม

ค. มีการยึดหดตัวน้อย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาหลุดล่อน แตกร้าวในภายหลัง

ง. เนื้อปูนมีสีขาวบริสุทธิ์ ด้วยความขาวร้อยละ 93 (Hunter's Method) ให้สีสันตรงความต้องการเมื่อผสมกับสีฝุ่น

จ. ขนาดบรรจุ 20 กิโลกรัมต่อถุง

ฉ. สามารถใช้งานในพื้นที่ 2 ตารางเมตร ($m^2$) ต่อถุง (ที่ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร)

**รูปที่ 2.13** ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ
ที่มา : www.siamwhitecement.com

**2.3.5.2 ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง**

เป็นปูนเหมาะสำหรับงานที่ใช้ในการตกแต่งพื้น ผนัง บ้าน และอาคาร รวมทั้งงานสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปประเภทต่างๆ เช่น อ่างอาบน้ำ อ่างล้างหน้า เคาน์เตอร์ แผ่นปูพื้น และผนัง ผ่านเทคนิควิธีในการสร้างสรรค์งานที่หลากหลาย เช่น งานเทอร์ราซโซ (งานหินขัด) งาน

แนชเชอรัลลุค (หินล้าง กรวดล้าง ทรายล้าง) งานหล่อ งานคอนกรีตขาว เป็นต้น ด้วยสมบัติสีขาวบริสุทธิ์ของเนื้อปูนซีเมนต์ จึงสามารถเติมแต่งสีสันต่างๆ ด้วยสีฝุ่นได้ตรงตามความต้องการ

คุณสมบัติเด่น ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง

ก. เนื้อปูนซีเมนต์แน่น ละเอียด

ข. มีกำลังการยึดเกาะสูง และรับแรงอัดได้สูง

ค. มีระยะเวลาแห้งตัวที่เหมาะสมสำหรับการทำงาน และการตกแต่ง

ง. เนื้อปูนมีสีขาวบริสุทธิ์ ด้วยความขาวร้อยละ 93 (Hunter's Method) ให้สีสันที่ตรงตามต้องการ เมื่อผสมกับสีฝุ่น

จ. ขนาดบรรจุ 40 กิโลกรัมต่อถุง

ฉ. พื้นที่ใช้งาน 4 ตารางเมตรต่อถุง (ที่ความหนาไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร)

(บริษัท สยามปูนซีเมนต์ขาว จำกัด, 2535)

รูปที่ 2.14 ปูนซีเมนต์ขาวตราช้าง
ที่มา : www.siamwhitecement.com

i590 53940
ส.
2690
2554

2.3.6 ปฏิกิริยาระหว่างปูซีเมนต์กับน้ำ

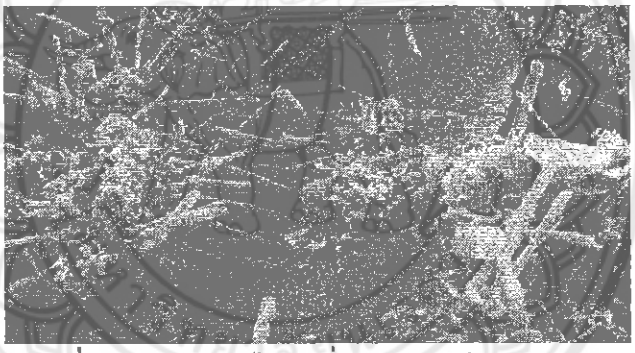
ปูนซีเมนต์ มีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด สามารถเกิดการก่อตัว และแข็งตัวได้โดยการทำปฏิกิริยากับน้ำ เรียกว่า "ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น" ( Hydration Reaction ) ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ จะก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลว และสามารถลื่นไหลได้ช่วงเวลาหนึ่ง โดยจะเรียกช่วงเวลาที่สมบัติ ของซีเมนต์ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ เรียกว่า "Domant Period" หลังจากนั้น ซีเมนต์-เพสต์จะเริ่มจับตัว (Stiff) ถึงแม้ว่าจะนิ่มอยู่ แต่ก็ไม่สามารถไหลตัวได้อีก (Unworkable) แล้ว จุดนี้จะเป็นจุดที่ เรียกว่า "จุดแข็งตัวเริ่มต้น (Initial Set)" และระยะเวลาตั้งแต่ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำถึงจุดนี้เรียกว่า "เวลาก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time)" การก่อตัว และการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ เกิดจาก ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ผลของไฮเดรชั่นประกอบด้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide : CH) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (Calcium Silicate Hydrate : CSH) และเอททริงไกต์เป็นหลัก ซึ่งจะเข้าไปครอบครองช่องว่างที่มีอยู่ เมื่อไม่มีที่ว่างเหลืออยู่การทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจึงหยุดลง ยกเว้นการเกิดเอททริงไกต์ ซึ่งหากมีต่อไปจะทำให้เกิดการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ องค์ประกอบของปูนซีเมนต์โดยปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ อาศัยสารละลายปูนซีเมนต์จะละลายในน้ำก่อให้เกิด ions ในสารละลาย ions นี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ขึ้น และการเกิดปฏิกิริยา

ระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิว ของของแข็งโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกิริยาประเภทนี้ เรียกว่า (Solid State Reaction)

ปูนซีเมนต์ประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิด "ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น" ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดปฏิกิริยาต่อไปทำให้แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก ดังนั้น จึงแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ของสารประกอบหลักแต่ละชนิดของปูนซีเมนต์

ก. แคลเซียมซิลิเกตจะทำปฏิกิริยากับน้ำก่อให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ประมาณ 15 - 25 % และสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต Calcium Silicate Hydrate (CSH) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน และให้ความแข็งแรงในทันทีที่เกิดปฏิกิริยา แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ได้จะมีลักษณะเป็นวุ้น (Gel) ยังไม่แข็งตัวแต่จะค่อยๆ แข็งตัว และมีการพัฒนากำลังเชื่อมประสานเพิ่มขึ้น

ข. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของแคลเซียมอลูมิเนต ($C_3A$) จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และได้แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ จะมีการใส่ยิปซัมเข้าไป เพื่อหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของแคลเซียมอลูมิเนตไม่ให้เกิดเร็วเกินไป เพราะเมื่อแคลเซียมอลูมิเนตทำปฏิกิริยากับไอออนของซัลเฟตจะได้ แคลเซียม-ซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรต หรือ เอททริงไกต์ (Ettringite) จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดยากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของแคลเซียมอลูมิเนต
ที่มา : www.tpipolene.co.th

ค. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ ($C_4AF$) นี้จะเกิดในช่วงต้น แคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ จะทำปฏิกิริยากับยิปซัม และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ก่อให้เกิดอนุภาคเหมือนเข็มของเอททริงไกต์ (Ettringite)

**2.3.6.1 โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ แบ่งออกดังนี้**

ก. แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต มีปริมาณมากที่สุดในส่วนประกอบของซีเมนต์-เพสต์ถึงร้อยละ 50-70 โดยปริมาตร และอยู่ในรูปอนุภาคเล็กๆมีขนาดประมาณเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และมีลักษณะเป็นผลึกที่หยาบมาก อัตราส่วนของแคลเซียมต่อซิลิเกตในแคลเซียมซิลิ-เกตไฮเดรตไม่คงที่ขึ้นอยู่กับอายุ อุณหภูมิ และปริมาณน้ำที่ใช้ทำปฏิกิริยา

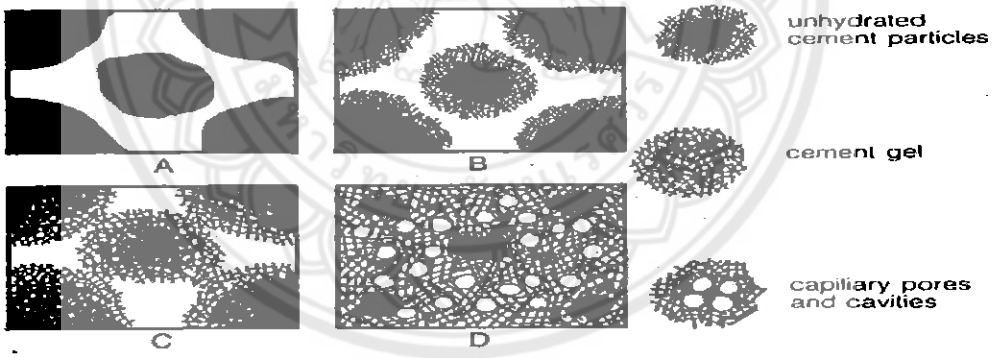
ข. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซีเมนต์เพสประกอบด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณร้อยละ 20-25 โดยปริมาตร เป็นผลึกรูปร่างหลายแบบ มีทั้งผลึกเล็กที่มีด้านเท่า ผลึกใหญ่ที่ลักษณะเป็นแผ่น ผลึกแบบยาว แคลเซียมไฮดรอกไซด์นี้เป็นสารประกอบที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความ

คงทนลดลง และการให้กำลังของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ยังต่ำกว่าแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) อีกด้วย

ค. แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต มีอยู่ประมาณร้อยละ 10-15 โดย ที่แคลเซียม-ซัลโฟอลูมิเนต หรือ เอททริงไกต์เกิดขึ้นตั้งแต่เริ่มผสม ปูนกับน้ำมีลักษณะเป็นเข็มยาวเกิดขึ้นรอบเม็ดปูน และขยายตัวเข้าในช่องว่าง เอททริงไกต์จะพยายามดันส่วนที่ล้อมรอบอยู่ออก ถ้าเกิดเอททริงไกต์ตอนที่ซีเมนต์เพสต์ยังเหลวก็จะไม่มีปัญหา แต่ถ้าเกิดตอนซีเมนต์เพสต์แข็งแล้วก็จะเกิดรอยร้าวได้

ง. เม็ดปูนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปแล้วเม็ดปูนจะมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 50 ไมโครเมตร และเป็นส่วนน้อยที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมโครเมตรขึ้นไป เม็ดปูนซีเมนต์ขนาดเล็กสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี และทำปฏิกิริยาได้หมด ขณะที่เม็ดปูนขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาถึงแม้ว่าปฏิกิริยาจะยังคงมีต่อไป และผลของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นจะขยายเข้าสู่ช่องว่างที่เหลืออยู่แต่เนื่องจากช่องว่างระหว่างอนุภาคมีจำกัด ดังนั้นเม็ดปูนที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดก็ยังคงมีอยู่ในซีเมนต์เพสต์

จ. ความพรุนของซีเมนต์เจล (Porosity) และประกอบด้วยโพรงเล็กๆตั้งแต่เล็กกว่า 0.0005 ไมโครเมตรถึง 10 ไมโครเมตรขึ้นไป และความกว้างของโพรงจะกำหนดพฤติกรรมของน้ำที่อยู่ภายในโพรง โดยทั่วไปสามารถแบ่งโพรงออกเป็น 2 ชนิด คือ โพรงของเจล (Gel Pore) และโพรงคาปิลารี (Capillary Pore) โพรงของเจลมีขนาด 0.0005 ถึง 0.01 ไมโครเมตร ส่วนโพรงคาปิลารีมีขนาดใหญ่กว่า คือ ประมาณ 0.01 ถึง 10 ไมโครเมตร และเป็นส่วนของช่องว่างของน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์




A) Immediately after mixing
B) Reaction around particles – early stiffening
C) Formation of skeletal structure – first hardening
D) Gel infilling – later hardening

**รูปที่ 2.16** แสดงลักษณะความพรุนของซีเมนต์เพสต์
ที่มา : www.tpipolene.co.th

**2.3.6.2 น้ำในซีเมนต์เพสต์ แบ่งออกได้สองชนิด คือ**

ก. น้ำที่ระเหยได้ เป็นน้ำส่วนที่ถูกขจัดออกเมื่อนำซีเมนต์เพสต์ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส รวมถึงน้ำในโพรงคาปิลารี น้ำในโพรงของเจล และน้ำบางส่วนของแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรต

ข. น้ำที่ระเหยไม่ได้ เป็นน้ำที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์กลายเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของเจล และขจัดออกไปเมื่อนำซีเมนต์เพสต์ไปเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส น้ำที่ระเหยออกไม่ได้จะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ และกลายเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของเจล ดังนั้นเนื้อซีเมนต์เจล หมายถึง ซีเมนต์เจลที่มีน้ำระเหยออกไม่ได้

**2.3.6.3 การยึดเหนี่ยวทางเคมี**

ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว มีคุณสมบัติคล้ายวัสดุเซรามิก ซึ่งมีการยึดเหนี่ยวแบบไอออนิกโควาเลนต์เป็นหลัก การยึดเหนี่ยวแบบแวนเดอร์วาลส์มีประมาณ หนึ่งในสาม

**2.3.6.4 การแยกตัว และการเยิ้มน้ำ**

การเยิ้มน้ำเป็นการแยกตัวของน้ำออกจากซีเมนต์ น้ำบางส่วนสามารถลอยขึ้นสู่ผิวบนหน้าของซีเมนต์ สืบเนื่องจากส่วนผสมอื่นที่เป็นของแข็งไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้หมด ส่งผลให้ส่วนบนของคอนกรีตมีกำลังต่ำกว่าส่วนล่าง

## 2.4 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก

เซรามิกเป็นผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น ถ้วยชาม กระเบื้อง สุขภัณฑ์ หรือ แม้กระทั่งชิ้นส่วนของอุปกรณ์เครื่องใช้ชนิดต่างๆ ผลิตภัณฑ์เซรามิกเหล่านี้มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไป ดังนั้นวิธีการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์จึงแตกต่างกันไป การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีนั้นมีข้อแตกต่างกัน ทั้งในการเตรียมเนื้อดินปั้น และอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องใช้ รวมถึงรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

### 2.4.1 การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว (Plastic Forming)

เป็นวิธีการขึ้นรูปที่เก่าแก่ที่สุด การเตรียมเนื้อดินปั้นจะกระทำโดยการผสมดินกับวัตถุดิบอื่นๆ และนวดให้เข้ากันดี หรือ อาจผสมในรูปของน้ำดินแล้วนำไปกรองให้เป็นแผ่น จากนั้นจึงนำไปขึ้นรูป ซึ่งอาจแบ่งได้เป็นอีกหลายวิธีย่อยๆ เช่น

2.4.1.1 การปั้นด้วยมือ (Hand Forming) เป็นวิธีขึ้นรูปที่อิสระที่สุด ผู้ปั้นจะใช้มือ และอุปกรณ์ต่างๆ เข้าช่วยในการปั้นดินให้เป็นรูปร่างตามต้องการ วิธีนี้สามารถปั้นผลิตภัณฑ์ได้ทุกรูปร่าง แต่มีขนาดไม่แน่นอน และต้องอาศัยใช้เวลา และความชำนาญของผู้ปั้นมาก จึงมักใช้กับงานศิลปะ หรือ งานหัตถกรรมพื้นบ้าน ที่ไม่ต้องการกำลังผลิตสูงนัก

2.4.1.2 จิกเกอริ่ง (Jiggering) เป็นวิธีที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยนำแผ่นเนื้อดินมาวางบนแบบปูนปลาสเตอร์ แล้วใช้ใบมีดกดรีดให้เนื้อดินได้รูปร่างตามต้องการ ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปกลมและแบน เช่น จานชนิดต่างๆ เป็นต้น

2.4.1.3 การรีด (Extrude) วิธีนี้จะนำดินมาผ่านเข้าเครื่องรีดให้ออกมาเป็นแท่งยาวๆ ซึ่งมีรูปหน้าตัดตามที่ออกแบบไว้ มักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปเป็นแท่งยาวๆ เช่น ท่อ (Tube) เป็นต้น

### 2.4.2 การเทแบบ (Casting)

วิธีนี้จะเตรียมเนื้อดินปั้นให้อยู่ในรูปของน้ำดินข้นๆ (Slip) ที่ไหลตัวได้ดี จากนั้นจึงเทลงในแบบหล่อปูนปลาสเตอร์ ปูนจะดูดน้ำ และทำให้เนื้อดินเกาะติดกับผนังแบบ ได้เป็นผลิตภัณฑ์ตามต้องการ วิธีนี้สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายรูปทรง แต่ต้องใช้น้ำในการขึ้นรูปมาก ทำให้การ

หดตัวหลังอบแห้งสูง ซึ่งอาจเกิดการแตก หรือ บิดเบี้ยวได้ง่าย ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ ได้แก่ สุขภัณฑ์ ถ้วยชาม ของที่ระลึกประเภทต่างๆ เป็นต้น

2.4.3 การอัด (Pressing)

วิธีนี้จะเตรียมเนื้อดินปั้นให้อยู่ในรูปของผงกลมๆ ที่ไหลตัวได้ดี จากนั้นจึงนำไปอัด ด้วยเครื่องอัดแรงดันสูง เพื่อให้เกาะติดกันเป็นแผ่น วิธีนี้จะใช้น้ำในการขึ้นรูปน้อยที่สุด ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง มีการหดตัวน้อยกว่าวิธีอื่นๆ แต่รูปทรงผลิตภัณฑ์ที่สามารถขึ้นรูปได้จำกัดกว่า ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีนี้ ได้แก่ กระเบื้องชนิดต่างๆ เป็นต้น

## 2.5 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง

2.5.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของวัตถุ = มวลของวัตถุ / ปริมาตรของวัตถุ

หรือ $$D = \frac{m}{v} \qquad (2.1)$$

D = ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, g / $cm^3$)
m = มวลของวัตถุ (กรัม, g)
v = ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร, $cm^3$)
(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี, 2545)

2.5.2 ร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

2.5.2.1 เครื่องมือ

เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.5.2.2 วิธีทดสอบ

ทำเครื่องหมายไว้บนกระเบื้องแต่ละแผ่นแล้วอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ปล่อยให้เย็นในเดสิกเกเตอร์ จากนั้นนำมาแยกชั่งทีละแผ่น โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักกระเบื้องแห้ง จากนั้นแช่กระเบื้องเหล่านี้จมอยู่ในน้ำกลั่นโดยให้น้ำกลั่นท่วมกระเบื้องตลอดเวลา แล้วปล่อยไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นซับน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าหมาดที่สะอาดแล้วรีบชั่งทันที โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ

2.5.2.3 วิธีคำนวณ

$$\text{การดูดซึมน้ำร้อยละ} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \qquad (2.2)$$

$W_w$ คือ น้ำหนักกระเบื้องหลังจากแช่น้ำ เป็นกรัม
$W_d$ คือ น้ำหนักกระเบื้องแห้ง เป็นกรัม
(สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)

2.5.3 ความแข็งแรงต่อแรงดัด (Bending Strength)

$$\text{Modulus of Rupture (MOR)} = \frac{3FL}{2bd^2} \qquad (2.3)$$

MOR = ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้อง (ปาสคาล)
F = แรงที่กดทำให้แท่งทดลองหัก (นิวตัน)
L = ระยะห่างของแท่นรองรับชิ้นทดลอง (เมตร)
b = ความกว้างของชิ้นทดลอง (เมตร)
d = ความหนาของชิ้นทดลอง (เมตร)
(มณฑล, 2531)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฉัตรชัย พรฐิติโภคิน ได้ทำการศึกษาการแทนที่เฟลด์สปาร์ ด้วยเศษแก้วขนาดต่างๆ ในเนื้อกระเบื้องเซรามิก โดยในการทดลองใช้อัตราส่วนดินดานต่อเศษแก้วร้อยละ 60 ของส่วนผสมทั้งหมด ผสมกับเศษแก้วร้อยละ 40 โดยนำเศษแก้วมาบด จากนั้นทำการคัดขนาด 4 มิลิเมตร, 147 ไมโครเมตร, 104 ไมโครเมตร และ 75 ไมโครเมตร ตามลำดับ ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 4 × 4 ตารางนิ้ว โดยใช้ความดันในการอัดขึ้นรูป 100 บาร์ เผาที่อุณหภูมิ 1200, 1150 และ 1100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าการแทนที่เฟลด์สปาร์ด้วยเศษแก้วขนาด 4 มิลิเมตร เนื้อวัตถุดิบผสมกันอย่างไม่ทั่วถึง ทำให้กระเบื้องหลังเผาแตกหักง่าย ในขณะที่การแทนที่เฟลด์สปาร์ด้วยเศษแก้วขนาด 147, 104 และ 75 ไมโครเมตร เมื่อนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 37 - 2529) พบว่าขนาดเศษแก้วที่อยู่ระหว่าง 75 – 104 ไมโครเมตร ที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส ส่งผลให้กระเบื้องมีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดสูงสุด เนื่องจากมีความเหมาะสมทางด้านส่วนผสม อนุภาคขนาดเล็กกระจายตัวในเนื้อดิน และการกระจายความร้อนอย่างทั่วถึงขณะเผา

อนุชา วรรณก้อน และสมัญญา สงวนพรรค (2551) ได้คิดค้นพัฒนาวิธีการเพิ่มมูลค่าเศษแก้วโซดาไลม์มาผลิตเป็นวัสดุประเภทกระเบื้อง นำเศษแก้วโซดาไลม์มาบดละเอียดจากนั้นนำไปผสมกับปูนขาว ผ่านกระบวนการบ่มให้ความร้อนด้วยไอน้ำอิ่มตัวยิ่งยวดที่อุณหภูมิ และความดันสูงซึ่งต่างจากผลิตภัณฑ์เซรามิกทั่วไปที่ต้องใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากในการเผา จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่ากระเบื้องจากเศษแก้วขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร มีความแข็งแรงในรูปความต้านทานแรงดัด (Bending Strength) ซึ่งเท่ากับ 8.32 - 12.21 เมกะปาสคาล (MPa) ทนทานต่อแรงกระแทก น้ำหนักเบา และมีการปรับปรุงคุณภาพด้านความสวยงามโดยการเติมผงสี และการเติมสารเคมี เพื่อลดค่าการดูดซึมน้ำ รวมถึงเพิ่มความเงาให้พื้นผิวโดยการเคลือบผิวด้วยอะคริลิก คุณสมบัติที่ได้เพียงพอต่อการนำไปใช้งานเป็นวัสดุบุผนังภายใน และเมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพด้านความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำให้ดีขึ้นกว่าเดิม

เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาผลของการนำของเสียประเภทเศษแก้วโซดาไลม์มาเป็นวัตถุดิบทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ในการผลิตกระเบื้องเซรามิก โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเศษแก้วโซดาไลม์ 3 สี ได้แก่ เศษขวดแก้วสีชา เศษขวดแก้วสีเขียว และเศษกระจก

ใสที่ใช้แล้ว ขึ้นรูปชิ้นงานเป็นแผ่นกระเบื้องขนาด 4 × 4 ตารางนิ้ว ด้วยความดัน 100 บาร์ (bar) จากนั้นนำไปเผาด้วยอุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ทดสอบคุณภาพของกระเบื้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องปูพื้น (มอก. 37 - 2549) ผลการศึกษาพบว่า กระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วสีเขียว ขึ้นรูปที่ความดัน 100 บาร์ และเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดสอบผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 37 - 2529) และมีสมบัติที่ดีที่สุด โดยมีค่ากำลังรับแรงดัดเท่ากับ 28.86 เมกะปาสคาล ค่าการหดตัวหลังการเผา และค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 14.83 และร้อยละ 3.93 ตามลำดับ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ของเสียประเภทเศษขวดแก้วสีเขียว สามารถนำมาใช้ทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ได้มีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเศษขวดแก้วที่เป็นสีชา และเศษแก้วที่เป็นกระจกสีใส

ลดา พันธ์สุขุมธนา (2550) ได้ทำการศึกษาผลของเศษแก้วในเนื้อดิน เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากเศษแก้วในการปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ และช่วยในการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการเผา โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเศษแก้วกระจกใส และเศษขวดแก้วสีชา ทำการทดลองโดยนำเศษแก้วมาตำให้ละเอียดก่อนที่จะนำไปบดเปียกในหม้อบด จนมีขนาดต่ำกว่า 100 เมช แล้วจึงนำไปอบก่อนใช้เติมในเนื้อดิน ดินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นดินแดงจากจังหวัดอ่างทอง ที่ใช้ในการผลิตอิฐ วิธีทดลอง ผสมเศษแก้วกระจกสีใสกับดินแดง เติมน้ำนวดผสมโดยเครื่องสุญญากาศ อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเนื้อเป็นอิฐ เผาในเตากลมขนาด 50 ตัน ที่ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส นำอิฐที่ได้จากการทดสอบสมบัติกายภาพ คือ การดูดซึมน้ำ ความทนสารเคมี ความต้านแรงดัด ความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยเฉียบพลัน ตามวิธี มอก. 614 - 2529 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนังภายนอก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเศษแก้วสามารถใช้เติม เพื่อการลดจุดสุกตัวของดินแดง ทำให้มีความแกร่ง หรือ ความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นหากต้องการผลิตผลิตภัณฑ์เดิม ที่มีสมบัติเดิมสามารถเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำลงได้ เป็นการประหยัดพลังงาน โดยที่เผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิเดิมจะมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีสมบัติที่แข็งแรงขึ้น เป็นการปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ หรือ พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

ลดา พันธ์สุขุมธนา (2551) ทำการวิจัยทำผลิตภัณฑ์กระเบื้องจากเศษแก้ว สำหรับใช้ตกแต่งอาคารบ้านเรือน โดยใช้เศษแก้วโซดาไลม์ซึ่งเป็นแก้วที่มีจุดอ่อนตัวอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 650 – 700 องศาเซลเซียส โดยการทดลองนี้นำแก้วมาบดให้ละเอียด ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช จากนั้นนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ แล้วให้ความร้อนประมาณ 700 – 900 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทำให้อนุภาคเกิดการเยิ้มตัว และเชื่อมต่อกัน (Sintering) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูง ร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำ ความแข็งแรงสูง หากเปรียบเทียบกับเซรามิกที่ให้ความแข็งแรงเช่นนี้จะต้องใช้พลังงานความร้อนมากเป็น 2 เท่าของการเผาผลิตภัณฑ์จากเศษแก้ว

วรรณา ต.แสงจันทร์ (2551) ได้ทำการศึกษาวิจัย เพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำอิฐ-มวลเบาจากเศษแก้ว สำหรับใช้เป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานได้อีกทางหนึ่ง โดยขั้นตอนการทำอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว บดเศษแก้วให้ละเอียดใส่ลงไปในส่วนผสมของอิฐมวลเบา ขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐ และเผาที่อุณหภูมิ 800 - 850 องศาเซลเซียส จะได้อิฐมวลเบาที่มีค่าความหนาแน่น และค่าการนำความร้อนต่ำ ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารบ้านเรือน

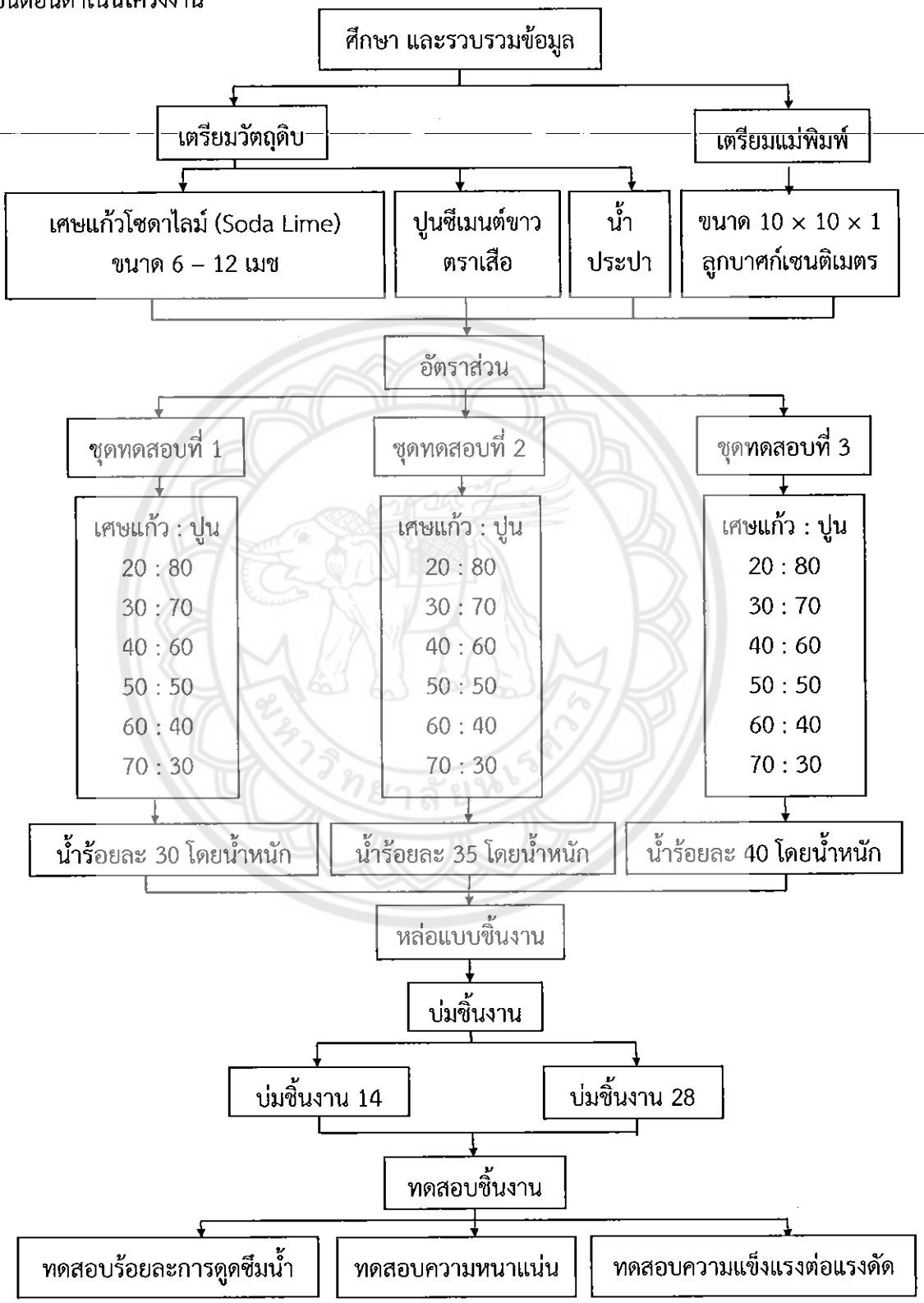
สุกาญจน์ น้อยเจริญ ได้ทำการพัฒนากระเบื้องดินซีเมนต์ ทำการศึกษาอัตราส่วนของปริมาณซีเมนต์ต่อปริมาณทรายในอัตราส่วนต่างๆ โดยนำส่วนทั้งหมดมาขึ้นรูปในแบบขนาด 12 × 12 × 1.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ($cm^3$) ใช้แรงในการอัดไม่ต่ำกว่า 22.42 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

(Kilogram per Square Centimeter : ksc). จากนั้นทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องดินซีเมนต์ พบว่าการเพิ่มปริมาณทราย ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามกำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มลดลง หากใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากจะส่งผลให้กำลังรับแรงดัดของกระเบื้องปูนซีเมนต์มีค่าสูงขึ้น

สุชาดา คำกล่อม และชวลิต มากเมือง (2553) ได้ทำการศึกษา ศึกษาขนาดของเศษแก้วโซดา-ไลม์ และอัตราส่วนระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ เพื่อผลิตเป็นกระเบื้องบุผนังภายใน โดยบดขวดแก้วชนิดโซดาไลม์ ให้เป็นเศษเล็กๆ แล้วทำการวัดขนาด โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 และ 100 เมช จากนั้นนำเศษแก้วโซดาไลม์ที่ได้มา ผสมในอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือที่อัตราส่วนต่างๆ กันนำไปเทลงในแม่พิมพ์ ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 10 - 12 ชั่วโมง แล้วแกะนำตัวผลิตภัณฑ์นั้นออกมาจากแบบ จากนั้นทำการขัดผิวแผ่นกระเบื้อง เพื่อให้เห็นถึงผิวของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่ยึดเกาะติดกับเนื้อปูนซีเมนต์ขาว นำไปบ่มในบรรยากาศปกติ เพื่อให้ได้เนื้อปูนซีเมนต์ขาวที่แข็งแรงขึ้น โดยใช้เวลาประมาณ 28 วัน จากนั้นทำการการทดสอบลักษณะเฉพาะ และสมบัติ โดยผลการทดลองพบว่าอิทธิพลของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว และขนาดของเศษแก้วโซดาไลม์ ที่มีผลต่อค่าความสอบเฉลี่ยของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ผลที่ได้ คือ ค่าความสอบเฉลี่ยมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากกระเบื้องเซรามิกที่ทำการศึกษานั้น ได้ทำการบ่มชิ้นงานไว้ 28 วัน และไม่ได้นำไปผ่านกระบวนการเผา เพราะฉะนั้นการหดตัวของชิ้นงานจึงไม่เกิดขึ้นมากนัก ดังนั้นปริมาณของเศษแก้วโซดาไลม์ จึงไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความสอบ และเมื่อนำค่าที่ได้มาทำการเทียบกับค่า มอก. กระเบื้องดินเผาเคลือบบุผนังภายใน (มอก.613 - 2529) พบว่ามีค่าที่ไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ดังนั้นกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมเศษแก้วโซดาไลม์ที่ได้จึงสามารถนำมาเป็นแนวทางในการผลิตกระเบื้องเซรามิกต่อไป

# บทที่3
# วิธีการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนดำเนินโครงงาน




**รูปที่ 3.1** แผนภาพขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

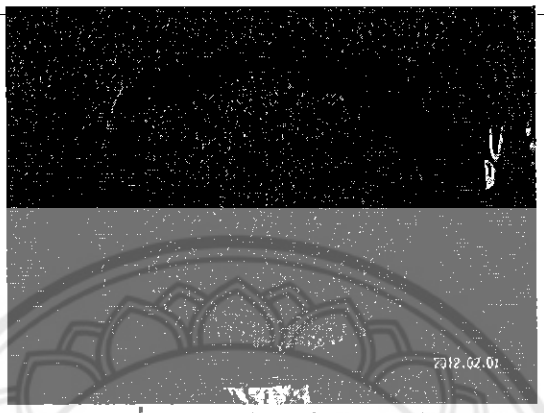
## 3.1 วัตถุดิบ และอุปกรณ์

3.1.1 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

3.1.2 เศษแก้วโซดาไลม์

3.1.3 แม่พิมพ์ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

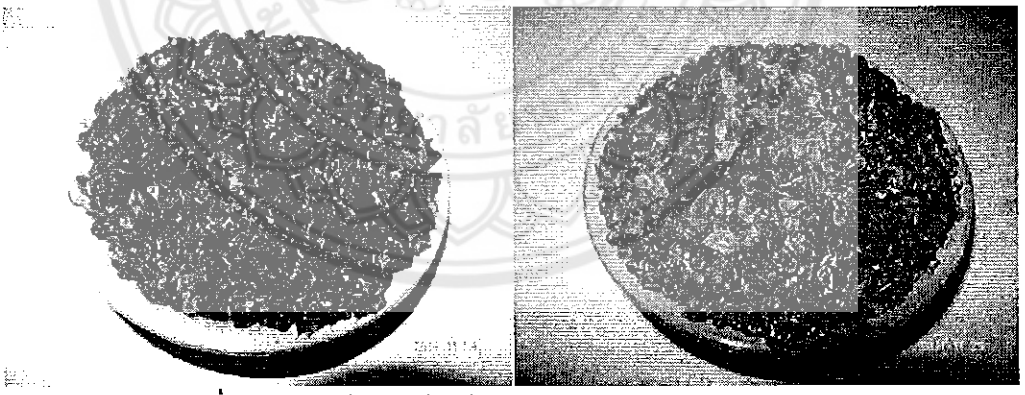
3.1.4 น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ

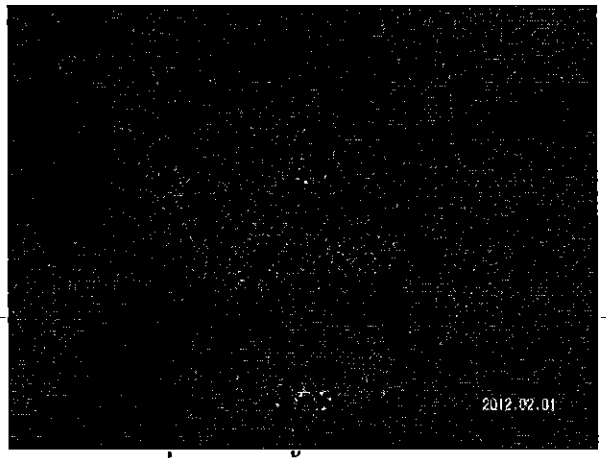
## 3.2 วิธีการขึ้นรูป

3.2.1 บดขวดแก้วชนิดโซดาไลม์ให้เป็นเศษเล็กๆ จากนั้นนำเศษแก้วบดมาผ่านตะแกรงร่อนช่วง 6 - 12 เมช



**รูปที่ 3.3 เศษแก้วโซดาไลม์บดผ่านตะแกรงร่อน ช่วง 6 - 12 เมช**

3.2.2 นำเศษแก้วโซดาไลม์ที่ได้มาผสมในอัตราส่วนต่อปูนซีเมนต์ขาวตราเสือที่ต่างๆ กัน แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยใช้น้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นนำไปหล่อลงในแม่พิมพ์ ขนาด 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 12 ชั่วโมง แล้วแกะนำตัวผลิตภัณฑ์ออกมา




**รูปที่ 3.4** หล่อชิ้นงานลงแม่พิมพ์

**ตาราง**ที่ 3.1 ส่วนผสมของอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ขาวตราเสือ และเศษแก้วโซดาไลม์

| อัตราส่วนแก้วต่อปูน | |
|---|---|
| เศษแก้วโซดาไลม์ | ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ |
| 20 | 80 |
| 30 | 70 |
| 40 | 60 |
| 50 | 50 |
| 60 | 40 |
| 70 | 30 |

3.2.3 ทำการขัดผิวของแผ่นกระเบื้อง เพื่อให้เห็นถึงผิวของเศษแก้วโซดาไลม์ที่เกาะติดกับเนื้อปูนซีเมนต์ขาว

3.2.4 นำไปบ่มเพื่อให้ได้เนื้อปูนซีเมนต์ขาวที่แข็งแรงขึ้น โดยทำ 2 ชุดตัวอย่าง นั่นคือ 14 และ 28 วัน จากนั้นนำไปทำการทดสอบ

## 3.3 การทดสอบลักษณะเฉพาะ และสมบัติ

### 3.3.1 ความหนาแน่น

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำกระเบื้องที่ได้มาชั่งด้วยเครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม จะได้มวลของวัตถุ จากนั้นทำการหาปริมาตรของวัตถุโดยคำนวณจากสูตร ปริมาตรของวัตถุ ซึ่งมีค่าเท่ากับ กว้าง × ยาว × สูง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของวัตถุ ดังสมการที่ 2.1

### 3.3.2 ร้อยละการดูดซึมน้ำ

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร นำกระเบื้องที่ได้มา

ทำการอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในเดสิกเกเตอร์ จากนั้นนำมาแยกชั่งทีละแผ่น โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักกระเบื้องแห้ง จากนั้นแช่กระเบื้องเหล่านี้จมอยู่ในน้ำโดยให้น้ำท่วมกระเบื้องตลอดเวลา แล้วปล่อยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นำขึ้นซับน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าหมาดที่สะอาดแล้วรีบชั่งทันที โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ แล้วนำมาทำการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้อง ดังสมการที่ 2.2

### 3.3.3 ความแข็งแรงต่อแรงดัด

ทำการทดสอบโดยนำกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากเศษแก้วโซดาไลม์ ผสมกับปูนซีเมนต์ขาว ที่มีขนาดของกระเบื้องเท่ากับ 10 × 10 × 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นนำกระเบื้องที่ได้มาทำการตัดชิ้นงานให้มีความกว้างเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร และความยาว 10 เซนติเมตร แล้วนำมาทำการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด ดังสมการที่ 2.3 ใช้แรง 5 kN โดยใช้อัตราเร็วในการกดที่ 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที และระยะ Span Length เท่ากับ 5 เซนติเมตร

## 3.4 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และปริมาณเศษแก้ว มาวิเคราะห์ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกล และคุณสมบัติทางกายภาพ

## 3.5 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มรายงาน

สรุปผลการทดลองจากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และปริมาณเศษแก้ว ที่มีผลต่อสมบัติทางกล และทางกายภาพกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว และนำผลการทดลองมาจัดทำรูปเล่มรายงาน

# บทที่ 4
# ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกลด้านความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่มีส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์กับปูนซีเมนต์ขาว

การทดลองนี้ได้นำเอาเศษแก้วโซดาไลม์มาผสมกับปูนซีเมนต์ขาวเพื่อทำการศึกษาผลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของกระเบื้องเซรามิก โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวโดยใช้ส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้ขนาดเศษแก้วในช่วง 6 - 12 เมช ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 ทำการบ่มที่ 14 และ 28 วัน ตามลำดับ จากนั้นนำกระเบื้องปูนซีเมนต์ขาวไปทำการทดสอบ

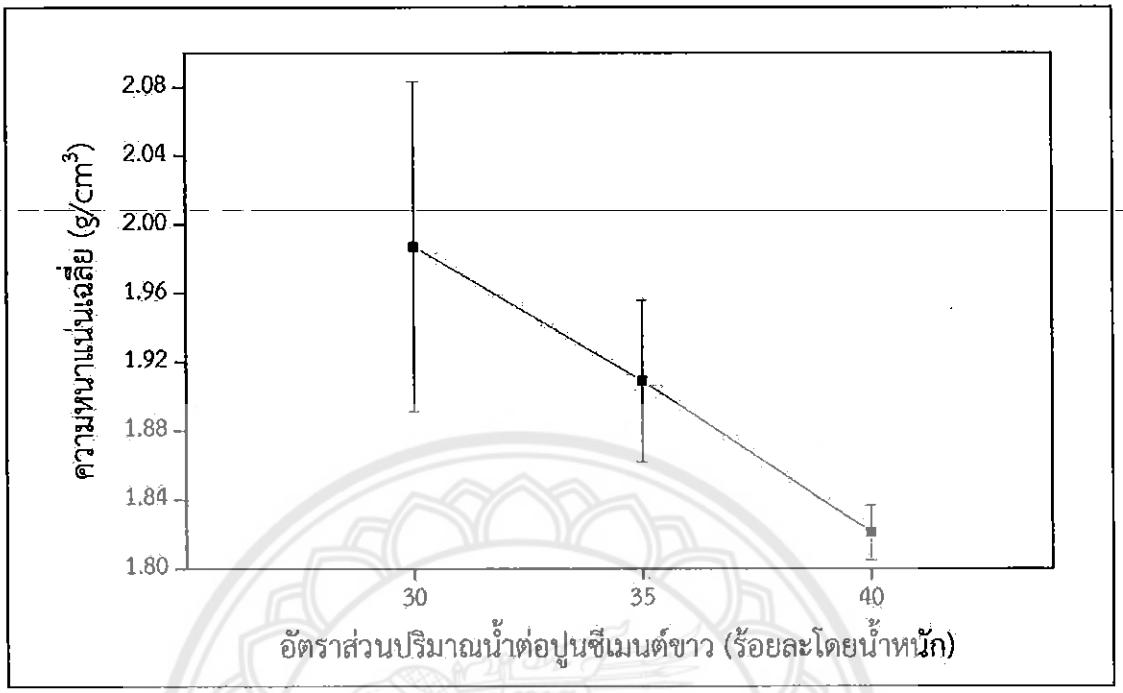
## 4.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด

ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน

**ตารางที่ 4.1** ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ที่ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) |
|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 1.987 | 8.319 | 1.791 |
| ร้อยละ 35 | 1.909 | 9.789 | 1.342 |
| ร้อยละ 40 | 1.821 | 12.115 | 1.175 |

### 4.1.1 ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น

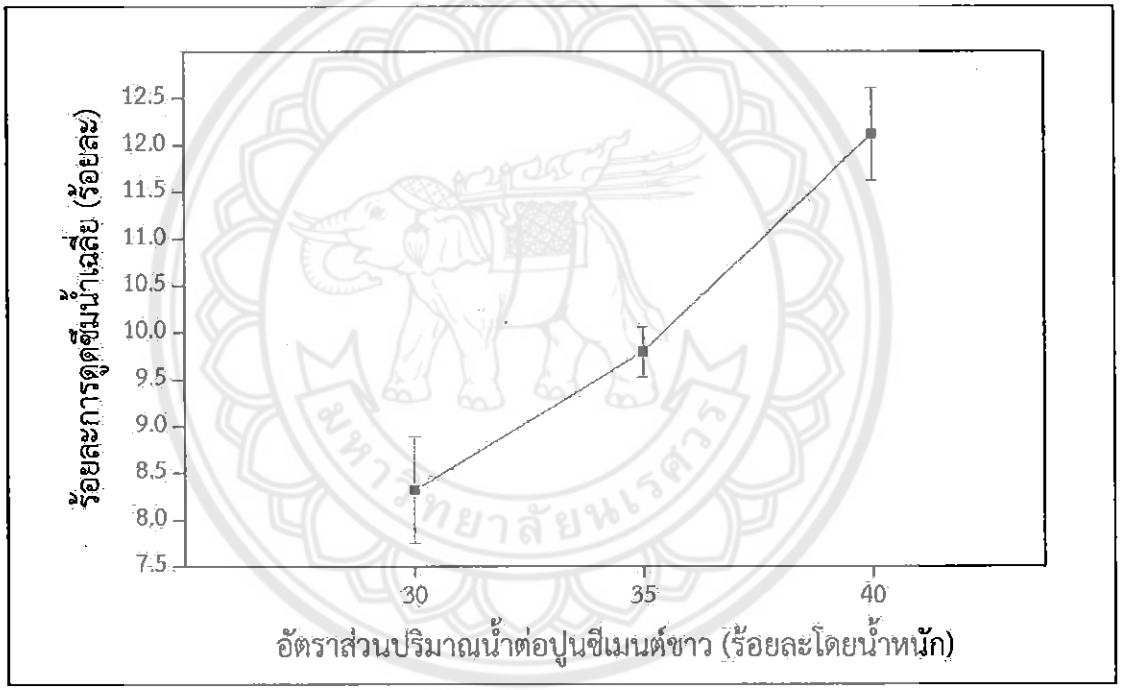



**รูปที่ 4.1** ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 พิจารณาค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว พิจารณาชิ้นงานที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนักตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว โดยจากการทดลองทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนที่ปริมาณน้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าชิ้นงานที่ผสมน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นต่ำสุด นั่นคือ การเพิ่มปริมาณน้ำส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบในปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยสารประกอบ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($C_3S$) และไดแคลเซียมซิลิเกต ($C_2S$) ที่อยู่ในผงปูนซีเมนต์ขาวทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้สารประกอบแคลเซียม-ไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท (Calcium Silicate Hydrate) ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน โดยเกิดการสานตัวกันภายในโครงสร้างลักษณะรูปเข็ม ส่งผลให้เกิดลักษณะช่องว่างเล็กๆ ภายในเนื้อของชิ้นงาน (รศ. ปริญญา และรศ. ชัย, 2547) ดังนั้นเมื่อมีปริมาณน้ำมากจึงส่งผลให้เกิดน้ำส่วนเกิน หรือ น้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งกระจายอยู่ในเนื้อชิ้นงาน เมื่อนำชิ้นงานไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่น้ำสามารถระเหยได้ (รศ. ปริญญา และรศ. ชัย, 2547) น้ำส่วนนี้จะถูกขจัดออกไปเกิดเป็นช่องว่างของน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันกระจายภายในเนื้อชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมี

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง ในทางกลับกันพบว่าชิ้นงานที่ผสมน้ำในอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30 มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสูงสุด นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ที่ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วันต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับชิ้นงานที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณน้ำ แม้ลักษณะของปูนซีเมนต์ที่ผสมน้ำจะเหลวง่ายต่อการเท แต่ส่งผลให้มีน้ำเหลือจากการทำปฏิกิริยาอยู่มาก ทำให้เกิดโพรง หรือ ช่องว่างในเนื้อของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำจึงส่งผลให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง

### 4.1.2 ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ

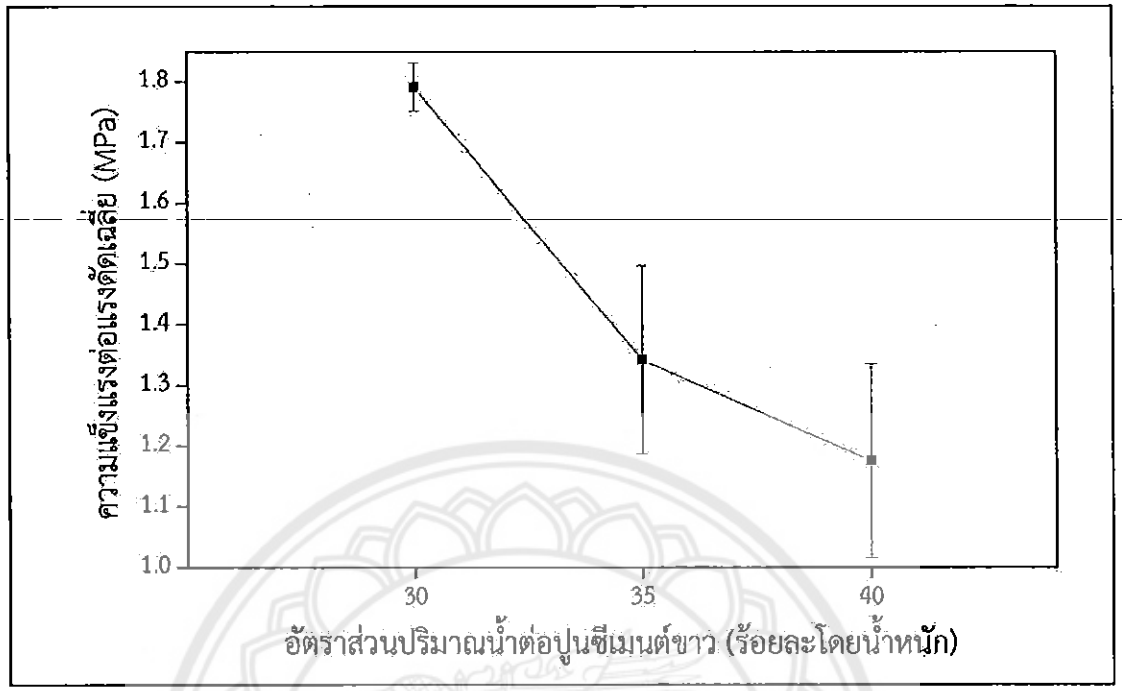



**รูปที่ 4.2** ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนผสมระหว่างแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30,35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1 พิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ชิ้นงานที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว โดยจากการทดลองทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่ปริมาณน้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำ สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.1.1 ที่พบว่าการ

เพิ่มปริมาณน้ำส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยลดลง โดยการทดลองนี้พบว่าชิ้นงานที่ผสมน้ำ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำสูงสุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำส่งผลให้เกิดน้ำส่วนเกิน หรือ น้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน กระจายอยู่ในเนื้อชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดเป็นช่องว่างหรือ โพรงภายในเนื้อชิ้นงาน (รศ. ปริญญา และ รศ. ชัย, 2547) เพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำโดยนำชิ้นงานแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง น้ำสามารถไหลเข้าสู่เนื้อชิ้นงานโดยน้ำจะไปเกาะตามช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงาน ดังนั้นชิ้นงานที่มีช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงาน หรือชิ้นงานที่มีความหนาแน่นต่ำสามารถดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเนื้อชิ้นงานได้สูง ส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่ผสมน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำสูงสุด ในทางกลับกันพบว่าชิ้นงานที่ผสมน้ำอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุด เนื่องจากชิ้นงานที่ผสมน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีความหนาแน่นภายในเนื้อชิ้นงานมากกว่า ช่องว่างภายในชิ้นงานจึงน้อยกว่า ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุด นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ที่ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับชิ้นงานที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณน้ำ แม้ลักษณะของปูนซีเมนต์ที่ผสมน้ำจะเหลวง่ายต่อการเท แต่ส่งผลให้มีน้ำเหลืออยู่ในโครงสร้างมาก ทำให้เกิดโพรง หรือ ช่องว่างในเนื้อของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้น้ำสามารถเข้าไปเกาะตามช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงาน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำจึงส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานสูงขึ้น

### 4.1.3 ผลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด



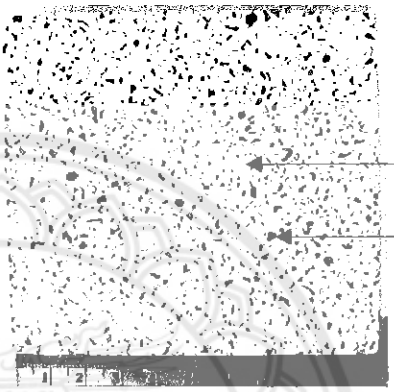
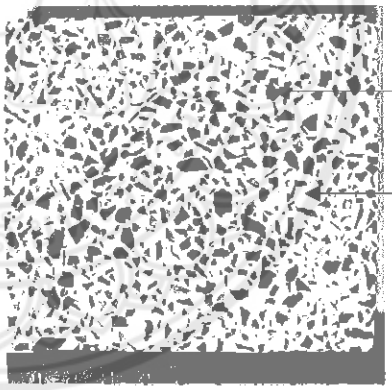
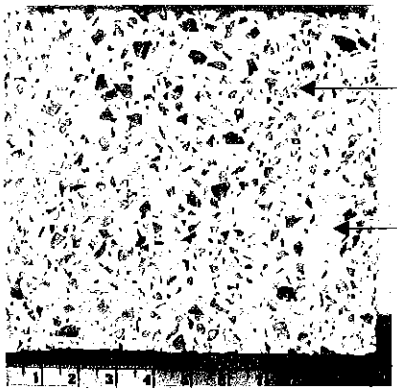

**รูปที่ 4.3** ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด ที่ปริมาณน้ำในอัตราส่วนต่างๆ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 พิจารณาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ชิ้นงานที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว โดยจากการทดลองทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนที่ปริมาณน้ำร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำ สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.1.1 และ 4.1.2 จากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ผสมน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดต่ำสุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ดังได้กล่าวไว้ว่า เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบในปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งเกิดการสานตัวกันภายในโครงสร้างลักษณะรูปเข็ม ส่งผลให้เกิดช่องว่างขนาดเล็ก ภายในเนื้อของชิ้นงาน (รศ. ปริญญา และรศ. ชัย, 2547) ที่มีอัตราส่วนปริมาณน้ำมาก ดังนั้นจึงเกิดน้ำส่วนเกิน หรือ น้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งกระจายอยู่ในเนื้อชิ้นงาน แม้ว่าการเพิ่มปริมาณน้ำทำให้ซีเมนต์มีสภาพเหลวเทได้ง่าย แต่ส่งผลให้เกิดฟองอากาศภายในชิ้นงาน โดยฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นไปบนผิวของชิ้นงาน ฟองอากาศจึงกระจายบนผิวชิ้นงาน ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมี รูพรุน ความหนาแน่นจึงลดลง มีการดูดซึมน้ำมากขึ้น และการเพิ่มปริมาณน้ำทำให้

ชิ้นงานเกิดการแยกตัวของซีเมนต์เหลวกับเศษแก้วได้ง่าย เนื่องจากเศษแก้วเป็นของแข็งที่มีลักษณะผิวเรียบ ไม่มีรูพรุนบริเวณพื้นผิวทำให้ไม่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ อีกทั้งเศษแก้วมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าเม็ดปูน ดังนั้นเศษแก้วจึงจมอยู่ด้านล่าง ปริมาณน้ำที่มากเกินไปส่งผลให้มีการเยิ้มน้ำเกิดขึ้น ชิ้นงานจึงไม่แข็งแรง การรับกำลังจึงมีประสิทธิภาพลดลง ในทางกลับกันพบว่าชิ้นงานที่ผสมน้ำอัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงสุด เนื่องจากชิ้นงานที่ผสมน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีความหนาแน่นภายในเนื้อชิ้นงานมากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ช่องว่างภายในชิ้นงานจึงน้อยกว่า ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุด ดังนั้นจึงส่งผลให้ชิ้นงานที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงกว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ที่ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับชิ้นงานที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณน้ำส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากมีช่องว่างจากน้ำส่วนเกินของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (รศ. ปริญญา และ รศ. ชัย, 2547) ส่งผลให้น้ำสามารถเข้าไปเกาะตามช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงาน เมื่อทำการอบชิ้นงานเพื่อไล่ความชื้นน้ำจะระเหยออกเหลือแต่ รูพรุนภายในโครงสร้าง การเพิ่มปริมาณน้ำจึงส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของชิ้นงานจึงมีค่าลดลง

### 4.1.4 ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว

**ตารางที่ 4.2** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 ที่ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มในระยะเวลา 28 วัน

| ปริมาณน้ำ (ร้อยละ) | ลักษณะกระเบื้องเซรามิก |
|---|---|
| 30 |   |
| 35 |   |
| 40 |   |

จากตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ชิ้นงานที่ผลิตด้วยอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน การเพิ่มปริมาณน้ำ ส่งผลให้กระเบื้องมีรูพรุนบนผิวชิ้นงานมากขึ้น ผิวชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำทำให้ซีเมนต์มีสภาพเหลว ง่ายต่อการเท ส่งผลให้เกิดฟองอากาศภายในชิ้นงาน โดยฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นไปบนผิวของชิ้นงาน ฟองอากาศจึงกระจายบนหน้าของผิวชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานแห้งส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีรูพรุน นอกจากนี้ยังเกิดการแยกตัวของเศษแก้วกับปูนที่มีลักษณะเหลวได้ง่าย เนื่องจากเศษแก้วซึ่งมีอนุภาคใหญ่กว่าเม็ดปูนจะจมอยู่ด้านล่าง ส่งผลให้ชิ้นงานไม่แข็งแรง พบว่าชิ้นงานที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีความเรียบผิวมากที่สุด และชิ้นงานที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ผิวของชิ้นงานมีรูพรุนจำนวนมาก นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ที่ใช้ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา14 และ 28 วันต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน เช่นเดียวกับชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วน 70 : 30 บ่มที่ระยะเวลา 28 วัน

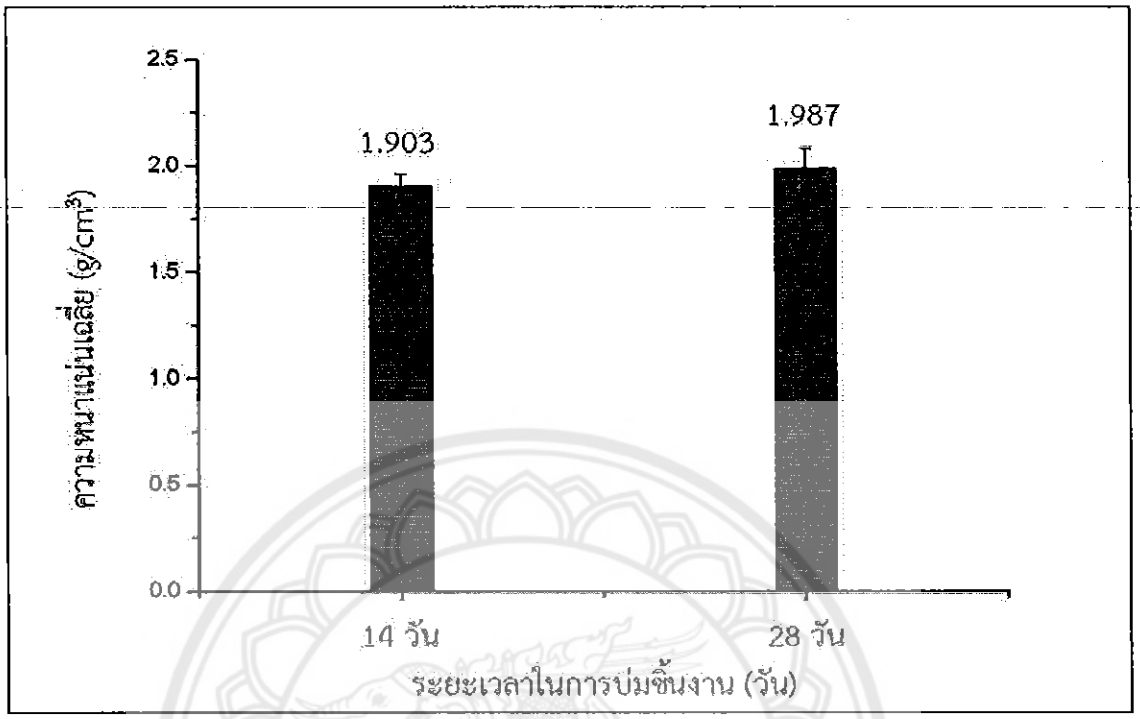
## 4.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด

ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการบ่ม ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด โดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ ต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มชิ้นงานเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน

**ตารางที่ 4.3** ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน

| ระยะเวลาในการบ่ม | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) |
|---|---|---|---|
| 14 วัน | 1.903 | 8.385 | 1.786 |
| 28 วัน | 1.987 | 8.319 | 1.791 |

### 4.2.1 ผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น

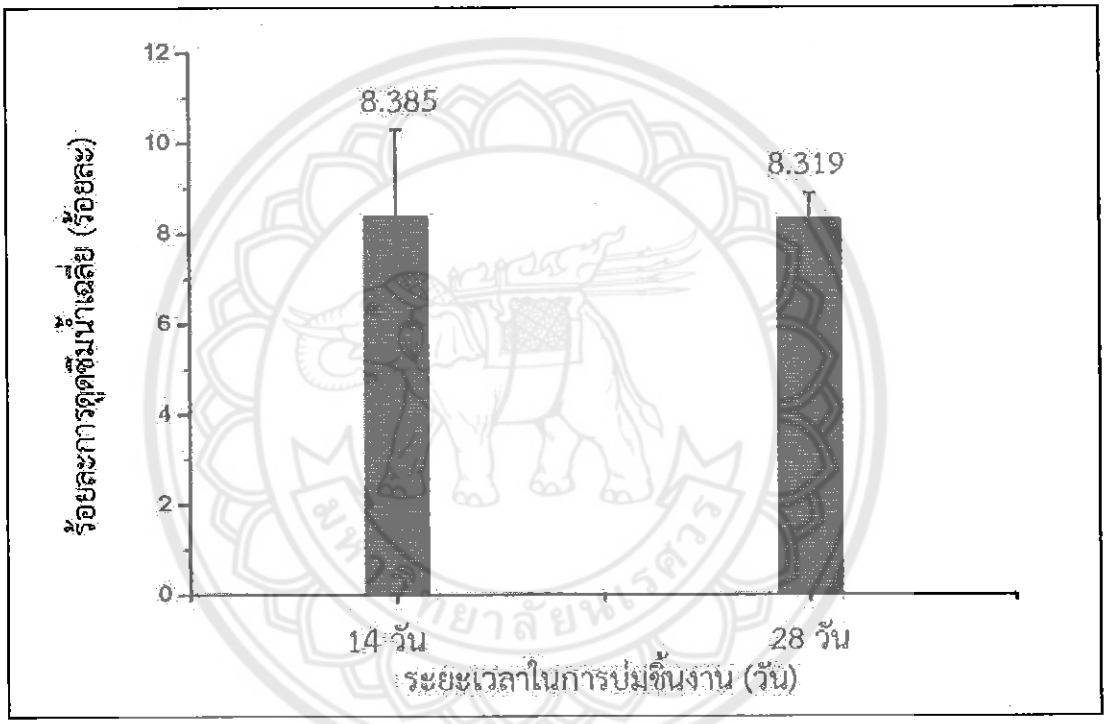



**รูปที่ 4.4** ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.3 พิจารณาค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 โดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบในปูนซีเมนต์กับน้ำเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน สารประกอบ $C_3S$ และ $C_2S$ ที่อยู่ในผงปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ซึ่งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรททำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน โดยเกิดการสานตัวกันภายในโครงสร้างลักษณะรูปเข็ม ปฏิกิริยาดังกล่าวจะช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเมื่อระยะเวลาผ่านไป 28 วัน ถือว่าเป็นระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ (รศ. ปริญญา และ รศ. ชัย, 2547) ปฏิกิริยาดังกล่าวจะสิ้นสุดลง จากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน มีความหนาแน่นสูงกว่าชิ้นงานที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน เนื่องจากระยะเวลาในการบ่มทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ชิ้นงานที่บ่ม 28 วัน ผลของปฏิกิริยาไฮเดรชัน นั่นคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท และส่วนประกอบย่อยอื่นๆ ที่เกิดการสานตัวกันภายในโครงสร้างลักษณะรูปเข็ม การขยายตัวของผลปฏิกิริยาไฮเดรชันนั้น ขยายเข้าไปในโพรง หรือ ช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานมากขึ้น ส่งผลให้ภายในเนื้อชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (รศ. ปริญญา และ รศ. ชัย, 2547) เนื่องจากโพรง หรือ ช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อชิ้นงานลดลง นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ผสมกับปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว

ร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน นั่นคือ ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 28 วัน ถือว่าเป็นระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากระยะเวลาในการบ่มทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องจนปฏิกิริยาดังกล่าวจะสิ้นสุดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป 28 วัน ส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีความหนาแน่นสูงขึ้น

### 4.2.2 ผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ

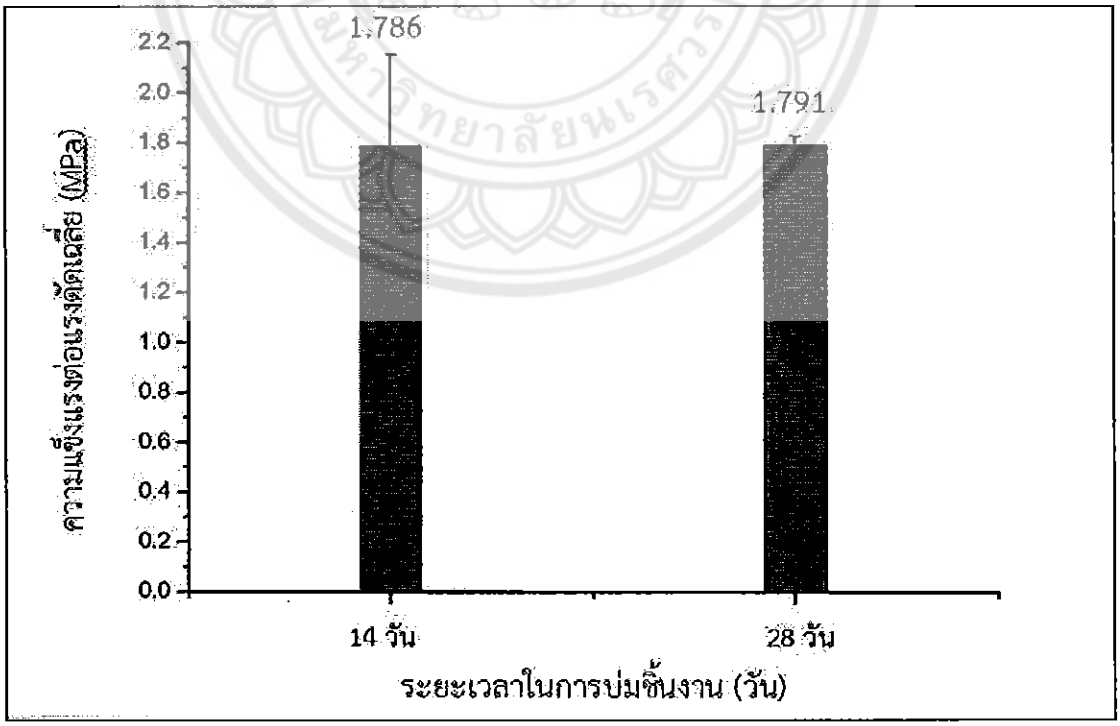



**รูปที่ 4.5** ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.3 พิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าระยะเวลาในการบ่มมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว โดยจากการทดลองทำการเปรียบเทียบระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน โดยบ่มชิ้นงานเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน พบว่าชิ้นงานที่บ่ม 28 วัน ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำจะมีค่าลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.2.1 พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 28 วัน ถือว่าเป็นระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ ชิ้นงานที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน มีความหนาแน่นสูงกว่าชิ้นงานที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน เนื่องจากระยะเวลาใน

การบ่มทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ชิ้นงานที่บ่ม 28 วัน ผลของปฏิกิริยาไฮเดรชัน นั่นคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท และส่วนประกอบย่อยอื่นๆ ขยายเข้าไปในโพรง หรือ ช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงาน ส่งผลให้ภายในเนื้อชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อชิ้นงานลดลง เมื่อนำชิ้นงานไปแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ พบว่าน้ำสามารถไหลเข้าสู่เนื้อชิ้นงานได้น้อย น้ำจึงไปเกาะตามช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานลดลง ดังนั้นชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูง สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเนื้อชิ้นงานได้ต่ำ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่ใช้ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 28 วัน มีค่าต่ำกว่าชิ้นงานที่บ่ม 14 วัน นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ผสมกับปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน ต่างก็ส่งผลไปในทิศทางเดียวกันกับกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน นั่นคือ ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 28 วัน ถือว่าเป็นระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากระยะเวลาในการบ่มทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องจนปฏิกิริยาดังกล่าวสิ้นสุดลง ส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้รูพรุนในเนื้อชิ้นงานลดน้อยลง น้ำสามารถซึมเข้าไปอยู่ในโครงสร้างได้ลดลง จึงมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำ

### 4.2.3 ผลของระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด

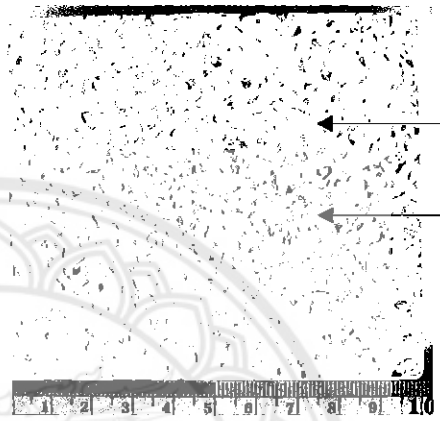
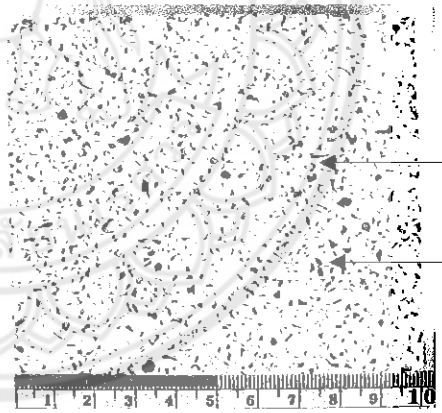



**รูปที่ 4.6** ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด ของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน และ 28 วัน

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.3 พิจารณาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด ของกระเบื้อง ปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน มีผลกระทบต่อความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว โดยจากการทดลองทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงดัดที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 และ 28 วัน พบว่า ชิ้นงานที่บ่ม 28 วัน มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงขึ้น สอดคล้องกับผลการทดลองที่ 4.2.1 และ 4.2.2 เนื่องจากระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน ถือว่าเป็นระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ (รศ. ปริญญา และ รศ. ชัย, 2547) ผลของปฏิกิริยาไฮเดรชัน นั่นคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท และส่วนประกอบย่อยอื่นๆ ขยายเข้าไปในโพรง หรือ ช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานมากขึ้น ส่งผลให้ภายในเนื้อชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โพรง หรือ ช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อชิ้นงานลดลง ส่งผลให้น้ำที่แช่กระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาวเพื่อทำการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำสามารถไหลเข้าสู่เนื้อชิ้นงานได้น้อยลง น้ำจึงไปเกาะตามช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานน้อย ส่งผลให้ชิ้นงานแข็งแรง การรับกำลังจึงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น แต่การรับกำลังนี้ไม่สูงมากนัก ต่างจากชิ้นงานที่ใช้ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน ไม่มากนัก เนื่องจากปูนซีเมนต์ขาวมีส่วนผสมของสารออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีสปริมาณน้อย แต่มีแคลเซียมอลูมิเนต ($C_3A$) สูง จึงทำให้เกิดปฏิกิริยากับน้ำอย่างรุนแรงก่อตัวทันที พัฒนากำลังเร็วมาก (ภายในวันเดียว) หลังจากนั้นการพัฒนากำลังได้ลดลง เวลาจึงไม่มีผลเหมือนกับปูนซีเมนต์ชนิดอื่นๆ ส่งผลให้กำลังประลัยค่อนข้างต่ำ ประสิทธิภาพในการรับแรงไม่สูงมากนัก เนื่องจากเหมาะสำหรับงานก่อฉาบ และงานด้านสถาปัตยกรรม ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับโครงสร้างที่รับแรง จึงไม่ต้องการกำลังสูง (รศ. ปริญญา และ รศ. ชัย, 2547) นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ผสมกับปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ซึ่งระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานสูงขึ้น ร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง และให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงกว่าชิ้นงานที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน

### 4.2.4 ลักษณะชิ้นงานใช้ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน และ 28 วัน

**ตารางที่ 4.4** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน

| ระยะเวลาในการบ่ม | ลักษณะกระเบื้องเซรามิก |
|---|---|
| 14 วัน |   |
| 28 วัน |   |

จากตารางที่ 4.4 พบว่าลักษณะภายนอกของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน มีลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกัน เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะภายนอก คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาว ดังนั้นระยะเวลาในการบ่มจึงไม่มีผลต่อลักษณะภายนอกของชิ้นงาน นั่นคือ ลักษณะภายนอกของชิ้นงานที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน มีลักษณะภายนอกเช่นเดียวกับชิ้นงานที่บ่ม 28 วัน

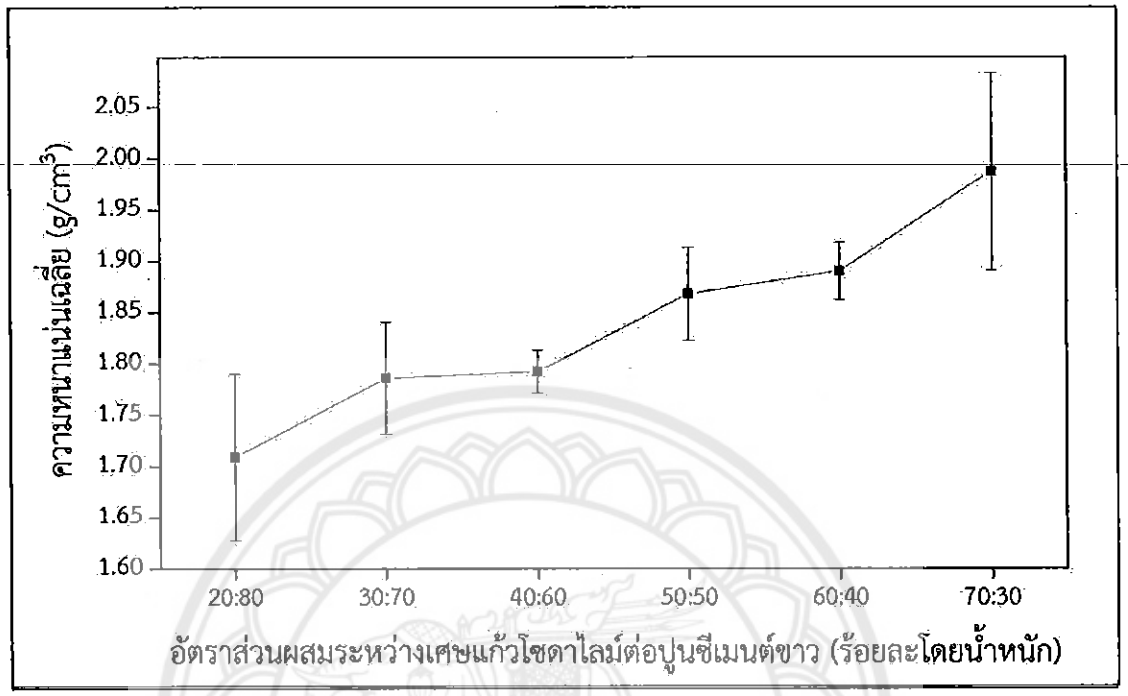
## 4.3 ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด

ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด ผสมกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30, 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน

**ตารางที่ 4.5** ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ70 : 30 ตามลำดับ ผสมกับอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ใช้เวลาบ่ม ชิ้นงาน 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) |
|---|---|---|---|
| 20 : 80 | 1.709 | 19.698 | 3.053 |
| 30 : 70 | 1.786 | 16.731 | 2.579 |
| 40 : 60 | 1.792 | 14.196 | 2.155 |
| 50 : 50 | 1.868 | 12.178 | 1.983 |
| 60 : 40 | 1.890 | 11.037 | 1.939 |
| 70 : 30 | 1.987 | 8.319 | 1.791 |

### 4.3.1 ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อความหนาแน่น

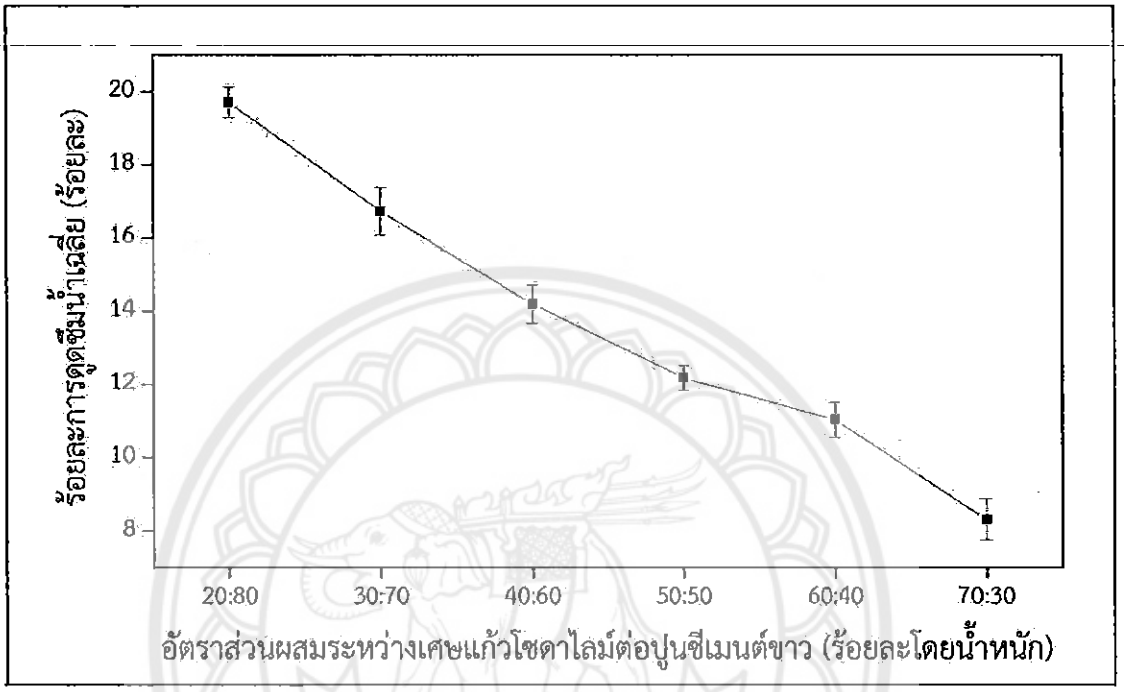



**รูปที่ 4.7** ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม28วัน

จากรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.5 พิจารณาค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาวใช้อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษแก้ว ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากเศษแก้วเป็นของแข็งที่มีลักษณะผิวเรียบ มีเนื้อแน่น ไม่มีรูพรุนบริเวณพื้นผิว เมื่อนำเศษแก้วไปผสมในชิ้นงาน เศษแก้วจะเข้าไปแทรกในช่องว่างที่เกิดจากการสานตัวกันเป็นรูปเข็มของปูน ซึ่งเป็นผลให้ความหนาแน่นภายในชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนของเศษแก้วลงไปในส่วนผสม ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น การทดลองพบว่าชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 70 : 30 มีค่าความหนาแน่นสูงสุด และพบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ผสมกับปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว

ในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษแก้ว ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานสูงขึ้น

### 4.3.2 ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ

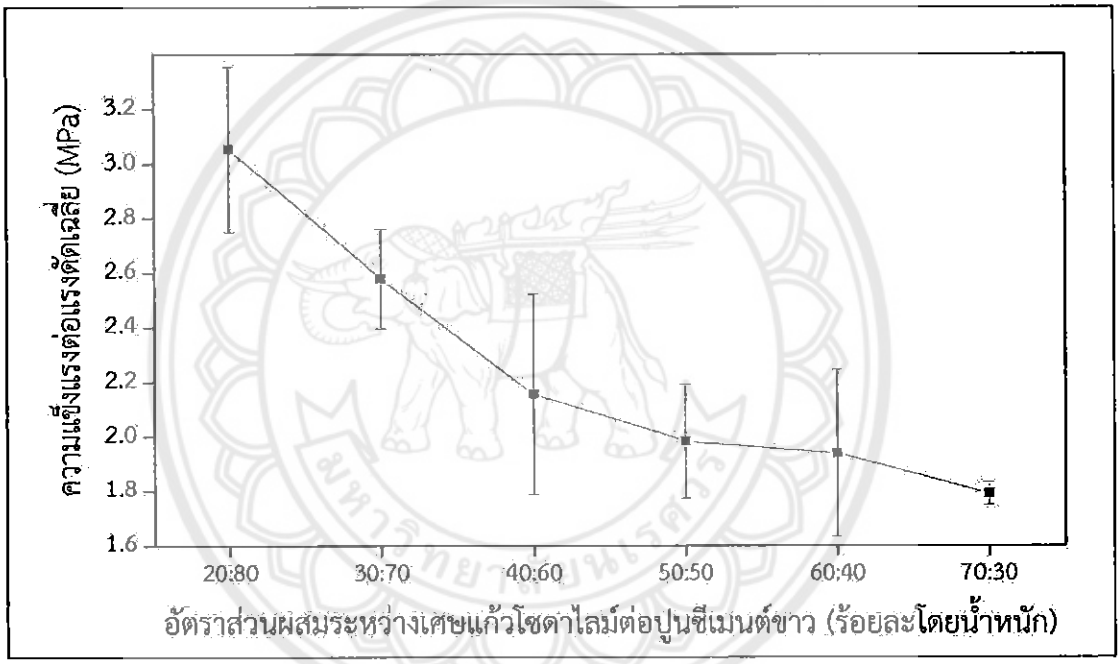



**รูปที่ 4.8** ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.5 พิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาวใช้อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าสอดคล้องกับผลการทดลอง 4.3.1 นั่นคือ การเพิ่มปริมาณแก้ว ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากเศษแก้วเป็นของแข็งที่มีลักษณะผิวเรียบ มีเนื้อแน่น ไม่มีรูพรุนบริเวณพื้นผิว เมื่อนำเศษแก้วไปผสมในชิ้นงาน เศษแก้วจะเข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างผลปฏิกิริยาไฮเดรชันที่มีลักษณะสานตัวกันเป็นรูปเข็ม ส่งผลให้ความหนาแน่นภายในชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น ภายในเนื้อของชิ้นงานมีช่องว่าง หรือ โพรงลดลง ส่งผลให้น้ำที่นำมาแช่กระเบื้องเพื่อใช้ในทดสอบเพื่อหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน สามารถไหลเข้าสู่เนื้อชิ้นงานได้น้อย น้ำจึงไปเกาะตามช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานได้น้อย ดังนั้นชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูง ความสามารถในการดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเนื้อชิ้นงานต่ำ ส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 มีค่าเฉลี่ยร้อยละการ

ดูดซึมน้ำต่ำสุด นอกจากนี้พบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ผสมกับปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน ต่างให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนผสมของเศษแก้ว ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานสูงขึ้น ทำให้ช่องว่าง หรือ โพรงภายในชิ้นงานลดลง ส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำลดต่ำลง

### 4.3.3 ผลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด



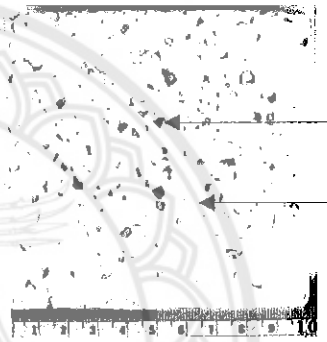
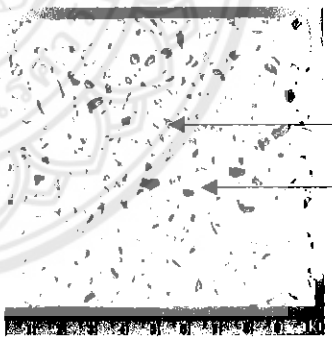

**รูปที่ 4.9** ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด ของอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

จากรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.5 พิจารณาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาวใช้อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก พบว่าชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว 20 : 80 มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงสุด ในทางตรงกันข้ามพบว่าอัตราส่วน 70 : 30 มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดต่ำสุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเศษแก้วที่มีอนุภาคใหญ่ส่งผลให้ปูนมีประสิทธิภาพในการเชื่อมประสาน หรือ ยึดเศษแก้วให้เป็นเนื้อเดียวกันได้น้อย เมื่อกระเบื้องถูกกดอัด

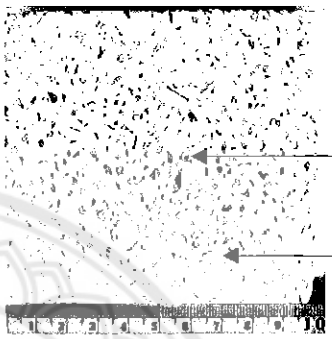
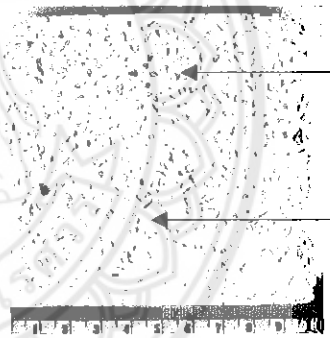
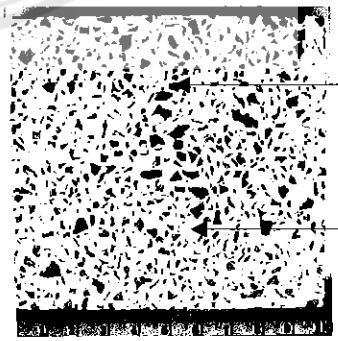
กระเบื้องจะแตกตามรอยขอบของเศษแก้วที่เติมลงไป ส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดต่ำสุด ดังนั้น รูปร่าง และลักษณะของเศษแก้วมีอิทธิพลต่อสมบัติของชิ้นงาน โดยอนุภาคกลมจะมีความสามารถในการเชื่อมประสานกับปูนได้ดีกว่าเป็นเหลี่ยมมุม (รศ. ปริญญา และ รศ. ชัย, 2547) ในโครงงานนี้เศษแก้วที่ใช้ในการหล่อมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ เพื่อให้เกิดสีสันลวดลายสวยงาม จึงทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างเศษแก้วกับปูนซีเมนต์ได้ง่าย เนื่องจากเศษแก้วมีผิวเรียบพื้นที่ระหว่างการยึดเหนี่ยวระหว่างเศษแก้วกับปูนจึงน้อยลง อีกทั้งเศษแก้วที่มีลักษณะแบนมีแนวโน้มจะเรียงตัวในแนวระนาบ ซ้อนทับกันในปริมาณมากจึงทำให้น้ำในซีเมนต์ถูกกักใต้เศษแก้ว ทำให้เกิดช่องว่างและทำให้การยึดเกาะระหว่างเศษแก้วกับปูนซีเมนต์เสียไป ดังนั้นพบว่าขนาดของเศษแก้วมีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเช่นกัน การเพิ่มอัตราส่วนของเศษแก้ว ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดที่ได้นั้นแปรผกผันกับค่าความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึมน้ำ ซึ่งในทางกลับกันจากงานวิจัยของชวลิต และสุชาดา พบว่าหากใช้เศษแก้วที่มีอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 20 – 100 เมช ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดจะมีค่าแปรผันตรงกับค่าความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึมน้ำ นั่นคือ การเพิ่มปริมาณเศษแก้วส่งผลให้ ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานสูงขึ้น เนื่องจากเศษแก้วขนาดเล็กจะเข้าไปแทรกในช่องว่างของปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้โพรง หรือ ช่องว่างในเนื้อชิ้นงานลดลง ร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากช่องว่างในเนื้อชิ้นงานถูกเติมเต็มด้วยเศษแก้วทำให้จำนวนช่องว่างลดลง ส่งผลให้ชิ้นงานดูดซึมน้ำได้ต่ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเศษแก้วมีอนุภาคขนาดเล็ก จึงเข้าไปแทรกในช่องว่างของชิ้นงานเพื่อเพิ่มความหนาแน่น และลดปริมาณช่องว่าง หรือ โพรงภายในโครงสร้างจึงส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงขึ้น แต่ชิ้นงานที่ได้ไม่มีสีสันลวดลาย เนื่องจากเศษแก้วที่ใช้มีขนาดเล็ก นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ตามลำดับ ผสมกับปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 35 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ บ่มเป็นระยะเวลา 14 และ 28 วัน ต่างก็ส่งผลไปในทิศทางเดียวกันกับกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก นั่นคือ การเพิ่มปริมาณเศษแก้วที่มีขนาดใหญ่แม้จะเพิ่มลวดลาย และสีสันให้กับชิ้นงาน แต่ในทางกลับกันชิ้นงานมีความแข็งแรงต่อแรงดัดต่ำลง

**4.3.4 ลักษณะของชิ้นงานที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ**

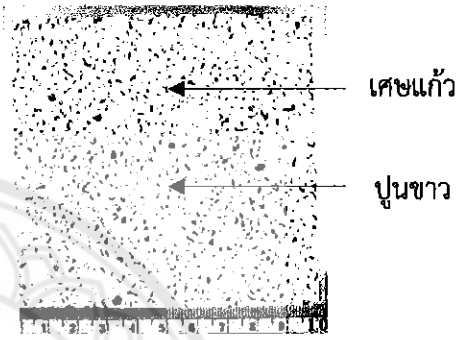
**ตารางที่ 4.6** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้องเซรามิก |
|---|---|
| 20 : 80 |   |
| 30 : 70 |   |

**ตารางที่ 4.6 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้องเซรามิก |
|---|---|
| 40 : 60 |   |
| 50 : 50 |   |
| 60 : 40 |   |

**ตารางที่ 4.6 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ของอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวใช้อัตราส่วนผสมเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้องเซรามิก |
|---|---|
| 70 : 30 |   |

จากตารางที่ 4.6 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของเศษแก้ว ส่งผลให้ชิ้นงานมีสีสัน และลวดลายมากขึ้น โดยชิ้นงานที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วต่อปูนซีเมนต์ขาว 20 : 80 เป็นอัตราส่วนที่เศษแก้วมีปริมาณน้อยทำให้ปรากฏลวดลายสีสันจากเศษแก้วบนกระเบื้องเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเศษแก้วจะจมลงพื้นของชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีลวดลาย และสีสันของเศษแก้วน้อยกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ในทางตรงกันข้ามที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 พบว่าชิ้นงานที่ได้มีสีสันและลวดลายของเศษแก้วกระจายทั่วทั้งชิ้นงาน เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณเศษแก้วมากกว่าปูน เศษแก้วจึงปรากฏบนผิวชิ้นงานชัดเจน ส่งผลให้ชิ้นงานมีสีสันลวดลายสวยงาม ดังนั้นการเพิ่มปริมาณเศษแก้วจึงเป็นการเพิ่มสีสัน ลวดลายให้กับกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

# บทที่ 5
# บทสรุป และข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว สามารถสรุป และวิเคราะห์ผลในเรื่องของอิทธิพลของปริมาณน้ำ ระยะเวลาในการบ่ม และอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว ไว้ดังนี้

### 5.1.1 อิทธิพลของปริมาณน้ำ

น้ำมีอิทธิพลต่อความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงต่อแรงดัด การเพิ่มปริมาณน้ำในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดน้ำส่วนเกิน หรือ น้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกระจายอยู่ในเนื้อชิ้นงาน เมื่อนำชิ้นงานไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นออก พบว่าน้ำส่วนนี้จะถูกขจัดออกไป เกิดเป็นช่องว่างของน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน กระจายภายในเนื้อชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นเฉลี่ยลดลง หรือ เกิดจำนวนช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานจำนวนมาก สามารถดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเนื้อชิ้นงานได้สูง ส่งผลให้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานมีค่าสูง และการเพิ่มปริมาณน้ำส่งผลให้เกิดน้ำส่วนเกินซึ่งกระจายอยู่ในเนื้อชิ้นงาน แม้ว่าการเพิ่มปริมาณน้ำทำให้ซีเมนต์มีสภาพเหลวเทได้ง่าย แต่ส่งผลให้เกิดฟองอากาศภายในชิ้นงาน โดยฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นไปบนผิวของชิ้นงาน ฟองอากาศจึงกระจายบนผิวชิ้นงาน ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีรูพรุน นอกจากนี้ยังส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการแยกตัวของซีเมนต์เหลวกับเศษแก้วได้ง่าย เนื่องจากเศษแก้วมีอนุภาคใหญ่กว่าเม็ดปูนจึงจมอยู่ด้านล่าง ส่งผลให้ชิ้นงานไม่แข็งแรง การรับกำลังจึงมีประสิทธิภาพลดลง ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของชิ้นงานจึงมีค่าลดลง อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 40 ส่งผลให้สมบัติทางกล และทางกายภาพของชิ้นงานต่ำสุด ในขณะที่อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ขาวร้อยละ 30 ส่งผลให้สมบัติทางกล และทางกายภาพของชิ้นงานดีที่สุด

### 5.1.2 อิทธิพลของระยะเวลาในการบ่ม

ระยะเวลาของการบ่มชิ้นงานทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ชิ้นงานที่บ่ม 28 วัน ผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน นั่นคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท และส่วนประกอบย่อยอื่นๆ ที่เกิดการสานตัวกันภายในโครงสร้างลักษณะรูปเข็ม การขยายตัวของผลปฏิกิริยาไฮเดรชันนั้น ขยายเข้าไปในโพรง หรือ ช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานมากขึ้น ส่งผลให้ภายในเนื้อชิ้นงานมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โพรง หรือ ช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อชิ้นงานลดลง เมื่อนำชิ้นงานไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการทดสอบหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ น้ำสามารถไหลเข้าสู่เนื้อชิ้นงานได้น้อยลง เนื่องจากชิ้นงานมีช่องว่างลดลง ดังนั้นชิ้นงานที่มีช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานน้อย ความสามารถในการดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเนื้อชิ้นงานจึงต่ำ ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำจึงต่ำลง ส่งผลให้ชิ้นงานแข็งแรง การรับกำลังจึงมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดจึงสูงขึ้น ดังนั้นระยะเวลาในการบ่ม จึงมีอิทธิพลต่อค่าความหนาแน่น ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าความแข็งแรง

ต่อแรงดัด ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 28 วัน ถือว่าเป็นระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ และส่งผลให้สมบัติทางกล และทางกายภาพดีที่สุด

**5.1.3 อิทธิพลของอัตราส่วนผสมของเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว**

การเพิ่มปริมาณเศษแก้ว ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากเศษแก้วเป็นของแข็งที่มีลักษณะผิวเรียบ มีเนื้อแน่น ไม่มีรูพรุนบริเวณพื้นผิว เมื่อนำเศษแก้วไปผสมในชิ้นงาน เศษแก้วจะเข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างผลของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่มีลักษณะสานตัวกันเป็นรูปเข็ม ส่งผลให้ความหนาแน่นภายในชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนของเศษแก้วลงไปในส่วนผสม ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น เมื่อนำชิ้นงานไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อทำการทดสอบหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ น้ำสามารถไหลเข้าสู่เนื้อชิ้นงานได้น้อยลง เนื่องจากชิ้นงานมีช่องว่างลดลง ดังนั้นชิ้นงานที่มีจำนวนช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานน้อย ความสามารถในการดูดซึมน้ำเข้าไปภายในเนื้อชิ้นงานจึงลดลง ส่งผลให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานอัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 70 : 30 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุด ในทางตรงกันข้ามอัตราส่วนผสมแก้วต่อปูนซีเมนต์ขาว 70 : 30 พบว่าเศษแก้วที่ใช้ในการหล่อมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ ส่งผลให้เกิดการแยกตัวระหว่างเศษแก้วกับปูนซีเมนต์ได้ง่าย เนื่องจากเศษแก้วเป็นของแข็งขนาดอนุภาคใหญ่กว่าเม็ดปูน เศษแก้วจึงจมอยู่ด้านล่าง นอกจากนี้พบว่าเศษแก้วที่อัตราส่วนผสมมากกว่าปูน ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างปูนกับเศษแก้ว เนื่องจากปูนน้อยประสิทธิภาพในการยึดเกาะแก้วที่มีอนุภาคใหญ่ปริมาณมากให้เป็นเนื้อเดียวกันก็ลดลง ส่งผลให้ชิ้นงานไม่แข็งแรง เมื่อกระเบื้องถูกกดอัดกระเบื้องจะแตกได้ง่าย ส่งผลให้ชิ้นงานที่ได้มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดต่ำลงแม้ว่าชิ้นงานที่ได้จากการหล่อด้วยเศษแก้วอนุภาคใหญ่จะมีลวดลายสีสันสวยงาม ดังนั้นพบว่าขนาดของเศษแก้วมีผลต่อค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดเช่นกัน อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวในอัตราส่วน 20 : 80 จึงมีความแข็งแรงต่อแรงดัดสูงสุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากปูนมีการดูดซับน้ำสูง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นกระเบื้องปูพื้น อาจพัฒนานำความคิดนี้ไปประยุกต์ใช้ทำกระเบื้องบุผนังแทน เพราะลวดลายที่ออกมานั้นมีความสวยงาม อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

5.2.2 ทำการศึกษาเพิ่มเติม อาจลดขนาดของเศษแก้วลงเล็กน้อย เพื่อเพิ่มสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดให้มากขึ้น แต่เมื่อหล่อแล้ว ยังสามารถเห็นลวดลายที่สวยงามอยู่

5.2.3 ในการผลิตกระเบื้องจากปูนซีเมนต์ขาว ไม่ควรที่จะผสมน้ำในอัตราส่วนน้ำต่อปูนมากจนเกินไป เพราะจะทำให้สมบัติต่างๆ ของกระเบื้องลดลง

## 5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

5.3.1 ในการหล่อชิ้นงาน เนื่องจากกระเบื้องทำจากปูนซีเมนต์ขาว และเศษแก้วโซดาไลม์ จึงต้องมีขั้นตอนการบดแก้วเพื่อนำมาร่อน ดังนั้นจึงเกิดการฟุ้งกระจายจากผงปูน และเศษแก้ว ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการหล่อ ขั้นตอนการขัดกระเบื้อง หรือ แม้แต่ขั้นตอนการร่อนเศษแก้ว ซึ่งผงปูน และผงของเศษแก้วเหล่านี้ อาจเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ หรือ ดวงตาได้ ดังนั้นจึงควรสวมผ้าปิดจมูก หรือ หน้ากากอนามัย และควรสวมแว่นตาขณะทำชิ้นงานด้วย

5.3.2 ในการผลิตกระเบื้องปูพื้นที่ทำจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ เนื่องจากขั้นตอนการผลิตนั้น ต้องทำการทุบขวดให้แตก และเล็กในระดับหนึ่ง ก่อนที่จะนำไปบด ดังนั้นจึงต้องมีการระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจากเศษแก้วนั้นมีความคม

# เอกสารอ้างอิง


กรมควบคุมมลพิษ (2543- 2549). ปัญหา และสาเหตุของขยะ. **ระบบเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2554, จาก http://www.pcd.go.th

กรมศุลกากร (2553). สถานการณ์อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศไทย **แสดงสัดส่วนการส่งออกสินค้าเซรามิกของไทย** 5 ประเภทหลัก. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2554, จาก http://ceramiccenter.dip.go.th/LinkClick.aspx?fileticket=ZJMurBop58U%3D&tabid=36

กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี. **กระเบื้องประดับตกแต่งจากเศษแก้ว**. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม 2554, จาก http://www.most.go.th/main/index.php

คชินท์ สายอินทวงศ์, (2551). **แนวทางในการเลือกใช้งานกระเบื้องเซรามิก และแนวทางในการเลือกใช้งานกระเบื้องเซรามิก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2554, สืบค้นจาก http://www.thaiceramicsociety.com

อนุชา วรรณก้อน. (2551). **การผลิต และปรับปรุงคุณสมบัติต้นแบบกระเบื้องมวลเบาจากเศษแก้ว.** สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2554, จาก http://www.mtec.or.th

ทรงลักษมณ์ วิโรจน์รัต.(2551). **ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชัน และปฏิกิริยาปอซโซลานของซีเมนต์เพสต์** สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2554, จาก http://khoon.msu.ac.th

นายจักราวุธ บัณฑุรัคน์. (2552). การผลิตปูนซีเมนต์. **สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 24.** สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2554, จาก http://guru.sanook.com

บุญธรรม ภัทราจารุกุล. (2549). ปูนซีเมนต์ขาว. สืบค้นเมื่อ 13 ตุลาคม 2554, จาก http://www.electron.rmotphysics.com/physicsglossary/index.phpoptioncom-content&teskview&id4695&Itemid

บริการข้อมูลวิทยาศาตร์ และเทคโนโลยีวัสดุแก้ว. (2539). แก้ว. สมบัติของวัสดุแก้ว. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2554, จาก http://www2.mtec.or.th/th/research/GSAT/glassweb/property.html

บริษัท พามาลิน จำกัด. (2554). ตะแกรงร่อนคัดขนาด. **ตะแกรงร่อนคัดขนาด**. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2554, จาก http://www.atriumtech.com/cgibin/hilightcgi/home/InterWeb2000&File.

บริษัท สยามปูนซีเมนต์ขาว จำกัด. (2535). **ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือ.** สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2554, จากhttp://www.siamwhitecement.com/thai/products_f/Tiger-apply.html.

บริษัท โสสุโก้ เซรามิค จำกัด. (2543). **เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับกระเบื้องเซรามิก**. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2554, จาก http://www.aplusadesign.com/content/view/70/65

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2553), **นวัตกรรมการเปลี่ยนขยะสู่งานสร้างสรรค์.** สืบค้นเมื่อ 10 มิถุนายน 2554, จาก http://www.creative.su.ac.th

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมของประเทศ , (2552), **ปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆ**. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2554, จาก http://www.sdhabhon.com

# เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ลดา พันธ์สุขุมธนา. (2550). **การใช้เศษแก้วในกระเบื้องดินแดง.** สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กันยายน 2554, จาก http://www.clinictech.most.go.th

ลดา พันธ์สุขุมธนา. (2551). **กระเบื้องจากเศษแก้ว สำหรับใช้ตกแต่งอาคารบ้านเรือน.** สืบค้นเมื่อวันที่ 4 กันยายน 2554, จาก http://newstkc.stkc.go.th/flagship/node/151

วรรณา ต.แสงจันทร์. (2551). **อิฐมวลเบาจากเศษแก้ว.** สืบค้นเมื่อวันที่ 7 กันยายน 2554, จาก http://www.wowthailand.org

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ และการสื่อสาร สานักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ และกรมศุลกากร. (2553).**สัดส่วนการส่งออก อุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศไทย.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2554, จาก www.ie.eng.chula.ac.th/academics/ course/2104328/ assignments

**สารานุกรม**ไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว **เล่มที่** 15. (2553), **ขยะมูลฝอย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2554, จาก http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet6/envi3/garbet/garbetn.htm

สุชาดา คำกล่อม และชวลิต มากเมือง. (2553). **ผลกระทบของเศษแก้วที่มีต่อสม**บัติทางกายภาพ**และสมบัติทางกลของปูนซีเมนต์ขาวในการผลิตกระเบื้องเซรามิก.** การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย. (2551). **ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์**. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2554, จาก http://www.thaitca.or.th

# ภาคผนวก ก
## ผลการทดสอบความหนาแน่น ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

**ตารางที่ ก.1** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 14 วัน | 20 : 80 | 1.654 | 1.706 | 0.042 |
| | | | 1.698 | | |
| | | | 1.782 | | |
| | | | 1.654 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.745 | | |
| | | | 1.688 | | |
| | | | 1.702 | | |
| | | | 1.696 | | |
| | | | 1.688 | | |
| | | 30 : 70 | 1.743 | 1.777 | 0.036 |
| | | | 1.829 | | |
| | | | 1.774 | | |
| | | | 1.796 | | |
| | | | 1.732 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.732 | | |
| | | | 1.796 | | |
| | | | 1.785 | | |
| | | | 1.824 | | |
| | | 40 : 60 | 1.618 | 1.789 | 0.144 |
| | | | 1.978 | | |
| | | | 1.642 | | |
| | | | 1.774 | | |
| | | | 1.856 | | |
| | | | 1.956 | | |
| | | | 1.763 | | |
| | | | 1.642 | | |
| | | | 1.681 | | |
| | | | 1.975 | | |

**ตารางที่ ก.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 14 วัน | 50 : 50 | 1.802 | 1.794 | 0.022 |
| | | | 1.788 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.789 | | |
| | | | 1.821 | | |
| | | | 1.788 | | |
| | | | 1.805 | | |
| | | | 1.765 | | |
| | | | 1.824 | | |
| | | | 1.802 | | |
| | | 60 : 40 | 1.785 | 1.823 | 0.056 |
| | | | 1.821 | | |
| | | | 1.811 | | |
| | | | 1.814 | | |
| | | | 1.979 | | |
| | | | 1.814 | | |
| | | | 1.814 | | |
| | | | 1.791 | | |
| | | | 1.814 | | |
| | | | 1.785 | | |
| | | 70 : 30 | 1.909 | 1.903 | 0.058 |
| | | | 1.982 | | |
| | | | 1.908 | | |
| | | | 1.818 | | |
| | | | 1.956 | | |
| | | | 1.945 | | |
| | | | 1.841 | | |
| | | | 1.965 | | |
| | | | 1.856 | | |
| | | | 1.854 | | |

**ตารางที่ ก.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 14 วัน | 20 : 80 | 1.568 | 1.516 | 0.035 |
| | | | 1.563 | | |
| | | | 1.542 | | |
| | | | 1.456 | | |
| | | | 1.487 | | |
| | | | 1.499 | | |
| | | | 1.503 | | |
| | | | 1.521 | | |
| | | | 1.502 | | |
| | | | 1.521 | | |
| | | 30 : 70 | 1.654 | 1.660 | 0.052 |
| | | | 1.698 | | |
| | | | 1.645 | | |
| | | | 1.687 | | |
| | | | 1.598 | | |
| | | | 1.546 | | |
| | | | 1.688 | | |
| | | | 1.702 | | |
| | | | 1.696 | | |
| | | | 1.688 | | |
| | | 40 : 60 | 1.659 | 1.689 | 0.099 |
| | | | 1.832 | | |
| | | | 1.481 | | |
| | | | 1.765 | | |
| | | | 1.638 | | |
| | | | 1.745 | | |
| | | | 1.658 | | |
| | | | 1.735 | | |
| | | | 1.625 | | |
| | | | 1.754 | | |

**ตารางที่ ก.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 14 วัน | 50 : 50 | 1.761 | 1.738 | 0.106 |
| | | | 1.467 | | |
| | | | 1.734 | | |
| | | | 1.725 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.856 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.845 | | |
| | | | 1.754 | | |
| | | | 1.725 | | |
| | | 60 : 40 | 1.746 | 1.743 | 0.008 |
| | | | 1.742 | | |
| | | | 1.752 | | |
| | | | 1.736 | | |
| | | | 1.741 | | |
| | | | 1.725 | | |
| | | | 1.743 | | |
| | | | 1.746 | | |
| | | | 1.749 | | |
| | | | 1.751 | | |
| | | 70 : 30 | 1.768 | 1.807 | 0.043 |
| | | | 1.836 | | |
| | | | 1.845 | | |
| | | | 1.754 | | |
| | | | 1.799 | | |
| | | | 1.865 | | |
| | | | 1.754 | | |
| | | | 1.778 | | |
| | | | 1.864 | | |
| | | | 1.802 | | |

**ตารางที่ ก.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 14 วัน | 20 : 80 | 1.293 | 1.311 | 0.012 |
| | | | 1.320 | | |
| | | | 1.311 | | |
| | | | 1.312 | | |
| | | | 1.329 | | |
| | | | 1.311 | | |
| | | | 1.324 | | |
| | | | 1.295 | | |
| | | | 1.298 | | |
| | | | 1.312 | | |
| | | 30 : 70 | 1.340 | 1.352 | 0.046 |
| | | | 1.316 | | |
| | | | 1.437 | | |
| | | | 1.331 | | |
| | | | 1.333 | | |
| | | | 1.333 | | |
| | | | 1.332 | | |
| | | | 1.436 | | |
| | | | 1.316 | | |
| | | | 1.341 | | |
| | | 40 : 60 | 1.368 | 1.366 | 0.014 |
| | | | 1.349 | | |
| | | | 1.386 | | |
| | | | 1.369 | | |
| | | | 1.354 | | |
| | | | 1.342 | | |
| | | | 1.369 | | |
| | | | 1.378 | | |
| | | | 1.369 | | |
| | | | 1.378 | | |

**ตารางที่ ก.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 14 วัน | 50 : 50 | 1.562 | 1.631 | 0.041 |
| | | | 1.593 | | |
| | | | 1.602 | | |
| | | | 1.634 | | |
| | | | 1.654 | | |
| | | | 1.599 | | |
| | | | 1.643 | | |
| | | | 1.657 | | |
| | | | 1.688 | | |
| | | | 1.679 | | |
| | | 60 : 40 | 1.821 | 1.716 | 0.138 |
| | | | 1.491 | | |
| | | | 1.645 | | |
| | | | 1.810 | | |
| | | | 1.815 | | |
| | | | 1.491 | | |
| | | | 1.821 | | |
| | | | 1.645 | | |
| | | | 1.815 | | |
| | | | 1.810 | | |
| | | 70 : 30 | 1.823 | 1.812 | 0.022 |
| | | | 1.82 | | |
| | | | 1.811 | | |
| | | | 1.819 | | |
| | | | 1.823 | | |
| | | | 1.812 | | |
| | | | 1.82 | | |
| | | | 1.751 | | |
| | | | 1.82 | | |
| | | | 1.819 | | |

**ตารางที่ ก.2** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 28 วัน | 20 : 80 | 1.637 | 1.709 | 0.081 |
| | | | 1.614 | | |
| | | | 1.717 | | |
| | | | 1.824 | | |
| | | | 1.752 | | |
| | | | 1.614 | | |
| | | | 1.637 | | |
| | | | 1.717 | | |
| | | | 1.824 | | |
| | | | 1.752 | | |
| | | 30 : 70 | 1.812 | 1.786 | 0.055 |
| | | | 1.742 | | |
| | | | 1.824 | | |
| | | | 1.823 | | |
| | | | 1.713 | | |
| | | | 1.856 | | |
| | | | 1.845 | | |
| | | | 1.798 | | |
| | | | 1.724 | | |
| | | | 1.721 | | |
| | | 40 : 60 | 1.792 | 1.792 | 0.021 |
| | | | 1.821 | | |
| | | | 1.754 | | |
| | | | 1.798 | | |
| | | | 1.789 | | |
| | | | 1.795 | | |
| | | | 1.801 | | |
| | | | 1.811 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.801 | | |

**ตารางที่ ก.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 28 วัน | 50 : 50 | 1.905 | 1.868 | 0.045 |
| | | | 1.841 | | |
| | | | 1.819 | | |
| | | | 1.915 | | |
| | | | 1.817 | | |
| | | | 1.841 | | |
| | | | 1.915 | | |
| | | | 1.905 | | |
| | | | 1.814 | | |
| | | | 1.905 | | |
| | | 60 : 40 | 1.880 | 1.890 | 0.028 |
| | | | 1.863 | | |
| | | | 1.880 | | |
| | | | 1.925 | | |
| | | | 1.927 | | |
| | | | 1.897 | | |
| | | | 1.854 | | |
| | | | 1.863 | | |
| | | | 1.887 | | |
| | | | 1.927 | | |
| | | 70 : 30 | 2.090 | 1.987 | 0.096 |
| | | | 1.846 | | |
| | | | 2.157 | | |
| | | | 1.923 | | |
| | | | 1.988 | | |
| | | | 2.030 | | |
| | | | 1.957 | | |
| | | | 1.954 | | |
| | | | 2.045 | | |
| | | | 1.875 | | |

**ตารางที่ ก.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 28 วัน | 20 : 80 | 1.575 | 1.563 | 0.024 |
| | | | 1.571 | | |
| | | | 1.590 | | |
| | | | 1.524 | | |
| | | | 1.526 | | |
| | | | 1.545 | | |
| | | | 1.562 | | |
| | | | 1.575 | | |
| | | | 1.571 | | |
| | | | 1.591 | | |
| | | 30 : 70 | 1.579 | 1.606 | 0.027 |
| | | | 1.63 | | |
| | | | 1.588 | | |
| | | | 1.588 | | |
| | | | 1.644 | | |
| | | | 1.579 | | |
| | | | 1.63 | | |
| | | | 1.644 | | |
| | | | 1.588 | | |
| | | | 1.588 | | |
| | | 40 : 60 | 1.698 | 1.693 | 0.065 |
| | | | 1.63 | | |
| | | | 1.745 | | |
| | | | 1.788 | | |
| | | | 1.787 | | |
| | | | 1.63 | | |
| | | | 1.645 | | |
| | | | 1.698 | | |
| | | | 1.611 | | |
| | | | 1.695 | | |

**ตารางที่ ก.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 28 วัน | 50 : 50 | 1.823 | 1.740 | 0.094 |
| | | | 1.837 | | |
| | | | 1.677 | | |
| | | | 1.751 | | |
| | | | 1.706 | | |
| | | | 1.699 | | |
| | | | 1.837 | | |
| | | | 1.846 | | |
| | | | 1.571 | | |
| | | | 1.656 | | |
| | | 60 : 40 | 1.763 | 1.757 | 0.146 |
| | | | 1.616 | | |
| | | | 1.949 | | |
| | | | 1.712 | | |
| | | | 1.550 | | |
| | | | 1.763 | | |
| | | | 1.942 | | |
| | | | 1.712 | | |
| | | | 1.616 | | |
| | | | 1.942 | | |
| | | 70 : 30 | 1.861 | 1.909 | 0.047 |
| | | | 1.844 | | |
| | | | 1.930 | | |
| | | | 1.938 | | |
| | | | 1.977 | | |
| | | | 1.946 | | |
| | | | 1.897 | | |
| | | | 1.897 | | |
| | | | 1.952 | | |
| | | | 1.845 | | |

**ตารางที่ ก.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 28 วัน | 20 : 80 | 1.377 | 1.321 | 0.076 |
| | | | 1.215 | | |
| | | | 1.255 | | |
| | | | 1.257 | | |
| | | | 1.389 | | |
| | | | 1.377 | | |
| | | | 1.385 | | |
| | | | 1.356 | | |
| | | | 1.389 | | |
| | | | 1.215 | | |
| | | 30 : 70 | 1.361 | 1.359 | 0.067 |
| | | | 1.378 | | |
| | | | 1.420 | | |
| | | | 1.407 | | |
| | | | 1.303 | | |
| | | | 1.302 | | |
| | | | 1.421 | | |
| | | | 1.213 | | |
| | | | 1.390 | | |
| | | | 1.399 | | |
| | | 40 : 60 | 1.378 | 1.387 | 0.029 |
| | | | 1.399 | | |
| | | | 1.356 | | |
| | | | 1.357 | | |
| | | | 1.356 | | |
| | | | 1.422 | | |
| | | | 1.402 | | |
| | | | 1.426 | | |
| | | | 1.412 | | |
| | | | 1.358 | | |

**ตารางที่ ก.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความหนาแน่น ($g/cm^3$) | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 28 วัน | 50 : 50 | 1.587 | 1.636 | 0.036 |
| | | | 1.599 | | |
| | | | 1.698 | | |
| | | | 1.639 | | |
| | | | 1.642 | | |
| | | | 1.654 | | |
| | | | 1.602 | | |
| | | | 1.643 | | |
| | | | 1.678 | | |
| | | | 1.613 | | |
| | | 60 : 40 | 1.826 | 1.786 | 0.036 |
| | | | 1.824 | | |
| | | | 1.739 | | |
| | | | 1.769 | | |
| | | | 1.796 | | |
| | | | 1.752 | | |
| | | | 1.754 | | |
| | | | 1.754 | | |
| | | | 1.826 | | |
| | | | 1.824 | | |
| | | 70 : 30 | 1.825 | 1.821 | 0.016 |
| | | | 1.802 | | |
| | | | 1.835 | | |
| | | | 1.834 | | |
| | | | 1.802 | | |
| | | | 1.809 | | |
| | | | 1.841 | | |
| | | | 1.799 | | |
| | | | 1.826 | | |
| | | | 1.834 | | |

# ภาคผนวก ข

## ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

**ตารางที่ ข.1** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 14 วัน | 20 : 80 | 19.642 | 19.975 | 0.677 |
| | | | 19.706 | | |
| | | | 19.883 | | |
| | | | 20.561 | | |
| | | | 21.533 | | |
| | | | 19.866 | | |
| | | | 19.787 | | |
| | | | 20.255 | | |
| | | | 19.356 | | |
| | | | 19.163 | | |
| | | 30 : 70 | 16.981 | 16.890 | 0.546 |
| | | | 16.776 | | |
| | | | 18.103 | | |
| | | | 16.766 | | |
| | | | 16.508 | | |
| | | | 17.302 | | |
| | | | 16.553 | | |
| | | | 17.234 | | |
| | | | 16.253 | | |
| | | | 16.423 | | |
| | | 40 : 60 | 15.143 | 15.381 | 0.310 |
| | | | 15.775 | | |
| | | | 15.057 | | |
| | | | 16.022 | | |
| | | | 14.365 | | |
| | | | 15.087 | | |
| | | | 15.143 | | |
| | | | 15.778 | | |
| | | | 16.022 | | |
| | | | 15.416 | | |

**ตารางที่ ข.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 14 วัน | 50 : 50 | 12.445 | 12.553 | 0.417 |
| | | | 12.921 | | |
| | | | 12.329 | | |
| | | | 12.692 | | |
| | | | 13.158 | | |
| | | | 12.361 | | |
| | | | 12.456 | | |
| | | | 12.856 | | |
| | | | 12.203 | | |
| | | | 12.105 | | |
| | | 60 : 40 | 11.456 | 11.376 | 0.305 |
| | | | 11.343 | | |
| | | | 11.057 | | |
| | | | 11.861 | | |
| | | | 11.502 | | |
| | | | 11.142 | | |
| | | | 11.024 | | |
| | | | 11.112 | | |
| | | | 11.852 | | |
| | | | 11.411 | | |
| | | 70 : 30 | 8.676 | 8.385 | 1.914 |
| | | | 9.231 | | |
| | | | 8.027 | | |
| | | | 7.177 | | |
| | | | 8.207 | | |
| | | | 8.969 | | |
| | | | 8.696 | | |
| | | | 8.452 | | |
| | | | 8.258 | | |
| | | | 8.157 | | |

**ตารางที่ ข.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 14 วัน | 20 : 80 | 22.321 | 22.487 | 0.424 |
| | | | 22.012 | | |
| | | | 23.173 | | |
| | | | 22.881 | | |
| | | | 22.111 | | |
| | | | 22.887 | | |
| | | | 22.322 | | |
| | | | 22.102 | | |
| | | | 22.172 | | |
| | | | 22.887 | | |
| | | 30 : 70 | 20.833 | 20.477 | 0.888 |
| | | | 20.736 | | |
| | | | 21.515 | | |
| | | | 19.614 | | |
| | | | 19.692 | | |
| | | | 20.546 | | |
| | | | 19.788 | | |
| | | | 20.986 | | |
| | | | 21.202 | | |
| | | | 19.857 | | |
| | | 40 : 60 | 18.129 | 18.567 | 0.583 |
| | | | 18.182 | | |
| | | | 19.774 | | |
| | | | 18.155 | | |
| | | | 18.539 | | |
| | | | 18.236 | | |
| | | | 18.259 | | |
| | | | 19.025 | | |
| | | | 18.114 | | |
| | | | 19.252 | | |

**ตารางที่ ข.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 14 วัน | 50 : 50 | 15.988 | 15.298 | 0.419 |
| | | | 15.449 | | |
| | | | 15.775 | | |
| | | | 15.341 | | |
| | | | 14.754 | | |
| | | | 14.989 | | |
| | | | 15.236 | | |
| | | | 14.785 | | |
| | | | 15.642 | | |
| | | | 15.023 | | |
| | | 60 : 40 | 13.333 | 13.416 | 0.288 |
| | | | 13.846 | | |
| | | | 13.613 | | |
| | | | 13.333 | | |
| | | | 13.102 | | |
| | | | 13.256 | | |
| | | | 13.254 | | |
| | | | 13.554 | | |
| | | | 13.021 | | |
| | | | 13.846 | | |
| | | 70 : 30 | 11.251 | 10.807 | 0.424 |
| | | | 11.023 | | |
| | | | 10.593 | | |
| | | | 10.966 | | |
| | | | 10.954 | | |
| | | | 10.652 | | |
| | | | 11.025 | | |
| | | | 10.584 | | |
| | | | 10.564 | | |
| | | | 10.457 | | |

**ตารางที่ ข.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 14 วัน | 20 : 80 | 42.227 | 40.332 | 0.526 |
| | | | 38.912 | | |
| | | | 41.079 | | |
| | | | 41.026 | | |
| | | | 39.456 | | |
| | | | 40.158 | | |
| | | | 41.015 | | |
| | | | 38.968 | | |
| | | | 39.256 | | |
| | | | 41.227 | | |
| | | 30 : 70 | 31.801 | 34.114 | 2.347 |
| | | | 35.291 | | |
| | | | 29.856 | | |
| | | | 36.187 | | |
| | | | 36.145 | | |
| | | | 35.246 | | |
| | | | 34.258 | | |
| | | | 30.998 | | |
| | | | 35.258 | | |
| | | | 36.102 | | |
| | | 40 : 60 | 30.357 | 28.683 | 1.326 |
| | | | 27.758 | | |
| | | | 30.605 | | |
| | | | 28.866 | | |
| | | | 27.562 | | |
| | | | 28.365 | | |
| | | | 28.954 | | |
| | | | 27.236 | | |
| | | | 26.998 | | |
| | | | 30.125 | | |

**ตารางที่ ข.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 14 วัน | 50 : 50 | 22.642 | 22.167 | 0.550 |
| | | | 21.646 | | |
| | | | 21.846 | | |
| | | | 22.501 | | |
| | | | 22.648 | | |
| | | | 22.468 | | |
| | | | 22.546 | | |
| | | | 21.365 | | |
| | | | 21.351 | | |
| | | | 22.652 | | |
| | | 60 : 40 | 13.625 | 14.405 | 0.579 |
| | | | 14.905 | | |
| | | | 15.104 | | |
| | | | 13.263 | | |
| | | | 13.263 | | |
| | | | 15.167 | | |
| | | | 15.236 | | |
| | | | 13.557 | | |
| | | | 14.562 | | |
| | | | 15.365 | | |
| | | 70 : 30 | 11.566 | 12.157 | 0.532 |
| | | | 12.346 | | |
| | | | 12.225 | | |
| | | | 12.598 | | |
| | | | 12.214 | | |
| | | | 12.566 | | |
| | | | 12.365 | | |
| | | | 12.895 | | |
| | | | 11.564 | | |
| | | | 11.235 | | |

**ตารางที่ ข.2** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาว ผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 28 วัน | 20 : 80 | 19.692 | 19.698 | 0.304 |
| | | | 19.412 | | |
| | | | 20.231 | | |
| | | | 18.981 | | |
| | | | 20.249 | | |
| | | | 19.568 | | |
| | | | 19.723 | | |
| | | | 19.365 | | |
| | | | 19.546 | | |
| | | | 20.215 | | |
| | | 30 : 70 | 16.267 | 16.731 | 0.183 |
| | | | 15.988 | | |
| | | | 17.501 | | |
| | | | 16.804 | | |
| | | | 16.327 | | |
| | | | 16.987 | | |
| | | | 17.852 | | |
| | | | 17.203 | | |
| | | | 15.978 | | |
| | | | 16.402 | | |
| | | 40 : 60 | 13.742 | 14.196 | 0.367 |
| | | | 14.681 | | |
| | | | 14.205 | | |
| | | | 14.088 | | |
| | | | 14.731 | | |
| | | | 14.165 | | |
| | | | 14.235 | | |
| | | | 13.898 | | |
| | | | 14.205 | | |
| | | | 14.011 | | |

**ตารางที่ ข.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 28 วัน | 50 : 50 | 11.905 | 12.178 | 0.210 |
| | | | 11.538 | | |
| | | | 12.368 | | |
| | | | 12.903 | | |
| | | | 12.699 | | |
| | | | 11.965 | | |
| | | | 12.054 | | |
| | | | 12.452 | | |
| | | | 11.896 | | |
| | | | 11.998 | | |
| | | 60 : 40 | 11.139 | 11.037 | 0.306 |
| | | | 10.811 | | |
| | | | 10.976 | | |
| | | | 11.807 | | |
| | | | 10.973 | | |
| | | | 10.358 | | |
| | | | 11.236 | | |
| | | | 10.245 | | |
| | | | 11.369 | | |
| | | | 11.457 | | |
| | | 70 : 30 | 9.536 | 8.319 | 0.040 |
| | | | 9.434 | | |
| | | | 9.449 | | |
| | | | 8.403 | | |
| | | | 9.045 | | |
| | | | 3.043 | | |
| | | | 8.546 | | |
| | | | 8.235 | | |
| | | | 9.045 | | |
| | | | 8.456 | | |

**ตารางที่ ข.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 28 วัน | 20 : 80 | 22.671 | 22.136 | 0.161 |
| | | | 22.754 | | |
| | | | 21.429 | | |
| | | | 22.568 | | |
| | | | 22.325 | | |
| | | | 21.985 | | |
| | | | 21.987 | | |
| | | | 22.251 | | |
| | | | 21.368 | | |
| | | | 22.025 | | |
| | | 30 : 70 | 22.013 | 20.452 | 0.062 |
| | | | 22.023 | | |
| | | | 20.195 | | |
| | | | 20.456 | | |
| | | | 20.135 | | |
| | | | 19.556 | | |
| | | | 20.548 | | |
| | | | 20.154 | | |
| | | | 19.564 | | |
| | | | 19.877 | | |
| | | 40 : 60 | 17.291 | 17.738 | 0.042 |
| | | | 17.493 | | |
| | | | 17.889 | | |
| | | | 17.562 | | |
| | | | 18.769 | | |
| | | | 17.761 | | |
| | | | 17.236 | | |
| | | | 17.896 | | |
| | | | 18.025 | | |
| | | | 17.456 | | |

**ตารางที่ ข.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 28 วัน | 50 : 50 | 13.953 | 14.402 | 0.083 |
| | | | 13.456 | | |
| | | | 14.917 | | |
| | | | 15.452 | | |
| | | | 14.681 | | |
| | | | 14.256 | | |
| | | | 14.223 | | |
| | | | 14.568 | | |
| | | | 13.985 | | |
| | | | 14.524 | | |
| | | 60 : 40 | 12.432 | 11.661 | 0.165 |
| | | | 10.753 | | |
| | | | 11.658 | | |
| | | | 12.325 | | |
| | | | 11.578 | | |
| | | | 11.548 | | |
| | | | 11.025 | | |
| | | | 11.658 | | |
| | | | 12.045 | | |
| | | | 11.587 | | |
| | | 70 : 30 | 10.118 | 9.789 | 0.155 |
| | | | 10.238 | | |
| | | | 10.312 | | |
| | | | 9.268 | | |
| | | | 9.773 | | |
| | | | 9.654 | | |
| | | | 9.154 | | |
| | | | 10.254 | | |
| | | | 9.668 | | |
| | | | 9.452 | | |

**ตารางที่ ข.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 28 วัน | 20 : 80 | 40.164 | 39.838 | 0.443 |
| | | | 40.343 | | |
| | | | 38.655 | | |
| | | | 39.394 | | |
| | | | 39.357 | | |
| | | | 40.112 | | |
| | | | 39.425 | | |
| | | | 39.658 | | |
| | | | 40.236 | | |
| | | | 39.856 | | |
| | | 30 : 70 | 30.851 | 32.765 | 0.115 |
| | | | 32.841 | | |
| | | | 34.646 | | |
| | | | 33.829 | | |
| | | | 33.466 | | |
| | | | 32.156 | | |
| | | | 33.256 | | |
| | | | 33.589 | | |
| | | | 32.024 | | |
| | | | 30.987 | | |
| | | 40 : 60 | 25.581 | 25.255 | 0.043 |
| | | | 22.364 | | |
| | | | 25.667 | | |
| | | | 23.718 | | |
| | | | 26.481 | | |
| | | | 26.023 | | |
| | | | 25.698 | | |
| | | | 25.412 | | |
| | | | 26.481 | | |
| | | | 25.126 | | |

**ตารางที่ ข.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) | ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 28 วัน | 50 : 50 | 20.691 | 21.314 | 0.029 |
| | | | 21.687 | | |
| | | | 22.254 | | |
| | | | 22.611 | | |
| | | | 19.512 | | |
| | | | 20.365 | | |
| | | | 21.325 | | |
| | | | 22.023 | | |
| | | | 20.987 | | |
| | | | 21.684 | | |
| | | 60 : 40 | 14.286 | 14.061 | 0.071 |
| | | | 12.963 | | |
| | | | 13.846 | | |
| | | | 13.661 | | |
| | | | 13.954 | | |
| | | | 13.664 | | |
| | | | 14.887 | | |
| | | | 14.856 | | |
| | | | 14.256 | | |
| | | | 14.236 | | |
| | | 70 : 30 | 12.727 | 12.115 | 0.159 |
| | | | 12.567 | | |
| | | | 12.343 | | |
| | | | 12.293 | | |
| | | | 11.251 | | |
| | | | 11.594 | | |
| | | | 12.258 | | |
| | | | 11.587 | | |
| | | | 11.986 | | |
| | | | 12.543 | | |

# ภาคผนวก ค
## ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดัด ของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

**ตารางที่ ค.1** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 14 วัน | 20 : 80 | 3.126 | 2.742 | 0.165 |
| | | | 2.691 | | |
| | | | 2.788 | | |
| | | | 2.863 | | |
| | | | 2.636 | | |
| | | | 2.624 | | |
| | | | 2.548 | | |
| | | | 2.784 | | |
| | | | 2.625 | | |
| | | | 2.735 | | |
| | | 30 : 70 | 2.215 | 2.588 | 0.381 |
| | | | 2.164 | | |
| | | | 2.210 | | |
| | | | 2.703 | | |
| | | | 3.354 | | |
| | | | 2.245 | | |
| | | | 2.712 | | |
| | | | 2.643 | | |
| | | | 2.778 | | |
| | | | 2.856 | | |
| | | 40 : 60 | 1.965 | 2.061 | 0.158 |
| | | | 1.854 | | |
| | | | 2.146 | | |
| | | | 2.398 | | |
| | | | 2.013 | | |
| | | | 2.045 | | |
| | | | 1.988 | | |
| | | | 2.231 | | |
| | | | 1.954 | | |
| | | | 2.011 | | |

**ตารางที่ ค.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาว ผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 14 วัน | 50 : 50 | 2.119 | 1.955 | 0.152 |
| | | | 2.049 | | |
| | | | 2.314 | | |
| | | | 1.742 | | |
| | | | 1.911 | | |
| | | | 1.925 | | |
| | | | 1.942 | | |
| | | | 1.936 | | |
| | | | 1.954 | | |
| | | | 1.921 | | |
| | | 60 : 40 | 1.495 | 1.901 | 0.387 |
| | | | 1.854 | | |
| | | | 1.852 | | |
| | | | 1.324 | | |
| | | | 2.245 | | |
| | | | 2.746 | | |
| | | | 1.945 | | |
| | | | 1.852 | | |
| | | | 1.800 | | |
| | | | 1.892 | | |
| | | 70 : 30 | 0.794 | 1.786 | 0.370 |
| | | | 1.922 | | |
| | | | 1.893 | | |
| | | | 2.101 | | |
| | | | 2.088 | | |
| | | | 1.765 | | |
| | | | 1.852 | | |
| | | | 1.795 | | |
| | | | 1.920 | | |
| | | | 1.745 | | |

**ตารางที่ ค.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 14 วัน | 20 : 80 | 1.748 | 2.098 | 0.495 |
| | | | 1.622 | | |
| | | | 2.160 | | |
| | | | 3.411 | | |
| | | | 1.799 | | |
| | | | 2.123 | | |
| | | | 2.056 | | |
| | | | 1.989 | | |
| | | | 2.118 | | |
| | | | 1.954 | | |
| | | 30 : 70 | 1.658 | 1.907 | 0.142 |
| | | | 2.225 | | |
| | | | 1.956 | | |
| | | | 1.924 | | |
| | | | 1.911 | | |
| | | | 1.905 | | |
| | | | 1.932 | | |
| | | | 1.799 | | |
| | | | 1.848 | | |
| | | | 1.909 | | |
| | | 40 : 60 | 2.012 | 1.864 | 0.172 |
| | | | 2.159 | | |
| | | | 1.526 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.865 | | |
| | | | 1.923 | | |
| | | | 1.752 | | |
| | | | 1.789 | | |
| | | | 1.951 | | |
| | | | 1.902 | | |

**ตารางที่ ค.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 14 วัน | 50 : 50 | 1.809 | 1.7279 | 0.034 |
| | | | 1.712 | | |
| | | | 1.742 | | |
| | | | 1.705 | | |
| | | | 1.723 | | |
| | | | 1.702 | | |
| | | | 1.724 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.711 | | |
| | | | 1.695 | | |
| | | 60 : 40 | 1.985 | 1.5518 | 0.316 |
| | | | 1.068 | | |
| | | | 1.720 | | |
| | | | 1.044 | | |
| | | | 1.985 | | |
| | | | 1.524 | | |
| | | | 1.524 | | |
| | | | 1.601 | | |
| | | | 1.512 | | |
| | | | 1.555 | | |
| | | 70 : 30 | 0.018 | 1.1666 | 0.445 |
| | | | 1.525 | | |
| | | | 0.972 | | |
| | | | 1.653 | | |
| | | | 1.125 | | |
| | | | 1.249 | | |
| | | | 1.265 | | |
| | | | 1.298 | | |
| | | | 1.268 | | |
| | | | 1.293 | | |

**ตารางที่ ค.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 14 วัน | 20 : 80 | 2.211 | 2.057 | 0.256 |
| | | | 2.363 | | |
| | | | 2.113 | | |
| | | | 2.129 | | |
| | | | 2.301 | | |
| | | | 2.298 | | |
| | | | 1.990 | | |
| | | | 1.654 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.755 | | |
| | | 30 : 70 | 1.246 | 1.829 | 0.223 |
| | | | 1.787 | | |
| | | | 1.938 | | |
| | | | 1.918 | | |
| | | | 1.925 | | |
| | | | 2.034 | | |
| | | | 1.856 | | |
| | | | 1.988 | | |
| | | | 1.855 | | |
| | | | 1.746 | | |
| | | 40 : 60 | 2.121 | 1.634 | 0.651 |
| | | | 2.890 | | |
| | | | 0.342 | | |
| | | | 1.072 | | |
| | | | 1.599 | | |
| | | | 1.672 | | |
| | | | 1.724 | | |
| | | | 1.652 | | |
| | | | 1.621 | | |
| | | | 1.645 | | |

**ตารางที่ ค.1 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 14 วัน | 50 : 50 | 1.755 | 1.566 | 0.174 |
| | | | 1.863 | | |
| | | | 1.261 | | |
| | | | 1.336 | | |
| | | | 1.544 | | |
| | | | 1.587 | | |
| | | | 1.562 | | |
| | | | 1.582 | | |
| | | | 1.574 | | |
| | | | 1.593 | | |
| | | 60 : 40 | 1.678 | 1.341 | 0.204 |
| | | | 1.499 | | |
| | | | 1.342 | | |
| | | | 1.211 | | |
| | | | 0.883 | | |
| | | | 1.421 | | |
| | | | 1.352 | | |
| | | | 1.298 | | |
| | | | 1.356 | | |
| | | | 1.365 | | |
| | | 70 : 30 | 0.134 | 1.113 | 0.560 |
| | | | 0.151 | | |
| | | | 1.269 | | |
| | | | 1.995 | | |
| | | | 1.235 | | |
| | | | 1.236 | | |
| | | | 1.284 | | |
| | | | 1.258 | | |
| | | | 1.279 | | |
| | | | 1.287 | | |

**ตารางที่ ค.2** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 28 วัน | 20 : 80 | 3.062 | 3.053 | 0.304 |
| | | | 2.818 | | |
| | | | 3.448 | | |
| | | | 2.967 | | |
| | | | 2.950 | | |
| | | | 3.045 | | |
| | | | 2.562 | | |
| | | | 3.054 | | |
| | | | 3.650 | | |
| | | | 2.978 | | |
| | | 30 : 70 | 2.067 | 2.579 | 0.183 |
| | | | 2.685 | | |
| | | | 2.645 | | |
| | | | 2.599 | | |
| | | | 2.614 | | |
| | | | 2.632 | | |
| | | | 2.645 | | |
| | | | 2.687 | | |
| | | | 2.578 | | |
| | | | 2.638 | | |
| | | 40 : 60 | 1.548 | 2.155 | 0.367 |
| | | | 1.586 | | |
| | | | 2.470 | | |
| | | | 2.407 | | |
| | | | 2.423 | | |
| | | | 2.256 | | |
| | | | 2.561 | | |
| | | | 2.362 | | |
| | | | 1.978 | | |
| | | | 1.963 | | |

**ตารางที่ ค.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาว ผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 30 | 28 วัน | 50 : 50 | 1.983 | 1.983 | 0.210 |
| | | | 2.243 | | |
| | | | 1.925 | | |
| | | | 2.438 | | |
| | | | 2.014 | | |
| | | | 1.802 | | |
| | | | 1.756 | | |
| | | | 1.943 | | |
| | | | 1.821 | | |
| | | | 1.902 | | |
| | | 60 : 40 | 1.979 | 1.939 | 0.306 |
| | | | 1.602 | | |
| | | | 1.748 | | |
| | | | 1.647 | | |
| | | | 2.231 | | |
| | | | 2.136 | | |
| | | | 2.258 | | |
| | | | 2.421 | | |
| | | | 1.598 | | |
| | | | 1.766 | | |
| | | 70 : 30 | 1.821 | 1.791 | 0.040 |
| | | | 1.742 | | |
| | | | 1.788 | | |
| | | | 1.832 | | |
| | | | 1.741 | | |
| | | | 1.799 | | |
| | | | 1.843 | | |
| | | | 1.834 | | |
| | | | 1.748 | | |
| | | | 1.764 | | |

**ตารางที่ ค.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 28 วัน | 20 : 80 | 2.231 | 2.222 | 0.161 |
| | | | 2.235 | | |
| | | | 2.321 | | |
| | | | 1.978 | | |
| | | | 1.999 | | |
| | | | 2.352 | | |
| | | | 2.345 | | |
| | | | 2.126 | | |
| | | | 2.485 | | |
| | | | 2.152 | | |
| | | 30 : 70 | 1.934 | 1.910 | 0.062 |
| | | | 1.876 | | |
| | | | 1.844 | | |
| | | | 1.942 | | |
| | | | 1.951 | | |
| | | | 1.768 | | |
| | | | 1.925 | | |
| | | | 1.963 | | |
| | | | 1.957 | | |
| | | | 1.940 | | |
| | | 40 : 60 | 1.893 | 1.889 | 0.042 |
| | | | 1.921 | | |
| | | | 1.879 | | |
| | | | 1.858 | | |
| | | | 1.826 | | |
| | | | 1.847 | | |
| | | | 1.932 | | |
| | | | 1.902 | | |
| | | | 1.871 | | |
| | | | 1.964 | | |

**ตารางที่ ค.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 35 | 28 วัน | 50 : 50 | 1.566 | 1.740 | 0.083 |
| | | | 1.661 | | |
| | | | 1.854 | | |
| | | | 1.749 | | |
| | | | 1.765 | | |
| | | | 1.689 | | |
| | | | 1.758 | | |
| | | | 1.749 | | |
| | | | 1.783 | | |
| | | | 1.821 | | |
| | | 60 : 40 | 1.309 | 1.557 | 0.165 |
| | | | 1.192 | | |
| | | | 1.632 | | |
| | | | 1.624 | | |
| | | | 1.682 | | |
| | | | 1.601 | | |
| | | | 1.634 | | |
| | | | 1.628 | | |
| | | | 1.643 | | |
| | | | 1.627 | | |
| | | 70 : 30 | 1.520 | 1.342 | 0.155 |
| | | | 1.342 | | |
| | | | 1.000 | | |
| | | | 1.298 | | |
| | | | 1.569 | | |
| | | | 1.420 | | |
| | | | 1.321 | | |
| | | | 1.265 | | |
| | | | 1.367 | | |
| | | | 1.321 | | |

**ตารางที่ ค.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

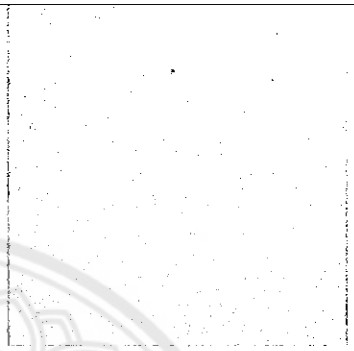
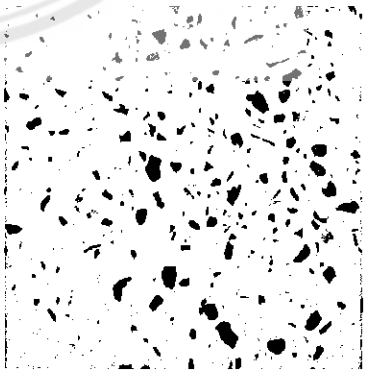
| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 28 วัน | 20 : 80 | 1.806 | 2.093 | 0.443 |
| | | | 1.870 | | |
| | | | 1.498 | | |
| | | | 2.295 | | |
| | | | 2.945 | | |
| | | | 2.741 | | |
| | | | 1.954 | | |
| | | | 1.982 | | |
| | | | 1.935 | | |
| | | | 1.901 | | |
| | | 30 : 70 | 1.784 | 1.835 | 0.115 |
| | | | 1.845 | | |
| | | | 1.844 | | |
| | | | 1.652 | | |
| | | | 1.669 | | |
| | | | 1.768 | | |
| | | | 1.925 | | |
| | | | 1.963 | | |
| | | | 1.957 | | |
| | | | 1.940 | | |
| | | 40 : 60 | 1.623 | 1.636 | 0.043 |
| | | | 1.675 | | |
| | | | 1.698 | | |
| | | | 1.648 | | |
| | | | 1.587 | | |
| | | | 1.631 | | |
| | | | 1.589 | | |
| | | | 1.599 | | |
| | | | 1.608 | | |
| | | | 1.698 | | |

**ตารางที่ ค.2 (ต่อ)** ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงดัดของกระเบื้องเซรามิกที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาวผสมกับเศษแก้วโซดาไลม์ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

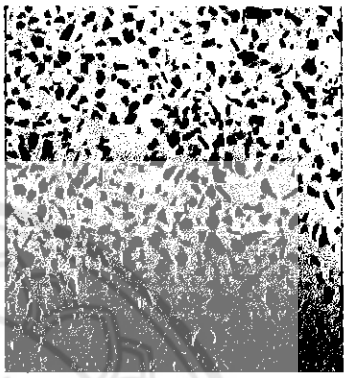
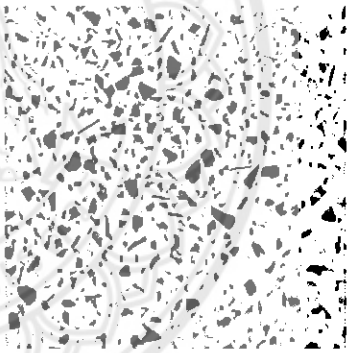
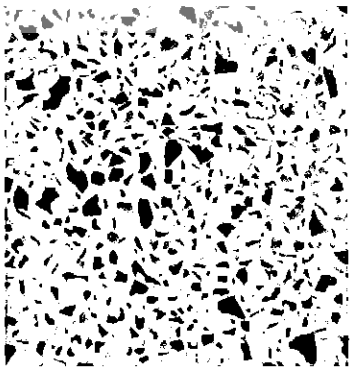
| ปริมาณน้ำ | ระยะเวลาในการบ่ม | อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ค่าความแข็งแรงต่อแรงดัด (MPa) | ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดัด | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน |
|---|---|---|---|---|---|
| ร้อยละ 40 | 28 วัน | 50 : 50 | 1.573 | 1.571 | 0.029 |
| | | | 1.532 | | |
| | | | 1.571 | | |
| | | | 1.554 | | |
| | | | 1.542 | | |
| | | | 1.625 | | |
| | | | 1.593 | | |
| | | | 1.547 | | |
| | | | 1.571 | | |
| | | | 1.601 | | |
| | | 60 : 40 | 1.486 | 1.511 | 0.071 |
| | | | 1.471 | | |
| | | | 1.472 | | |
| | | | 1.587 | | |
| | | | 1.358 | | |
| | | | 1.493 | | |
| | | | 1.556 | | |
| | | | 1.574 | | |
| | | | 1.529 | | |
| | | | 1.587 | | |
| | | 70 : 30 | 1.253 | 1.175 | 0.159 |
| | | | 1.169 | | |
| | | | 1.554 | | |
| | | | 1.069 | | |
| | | | 1.097 | | |
| | | | 1.021 | | |
| | | | 1.004 | | |
| | | | 1.145 | | |
| | | | 1.189 | | |
| | | | 1.253 | | |

# ภาคผนวก ง
## ลักษณะของกระเบื้องปูพื้นปูนซีเมนต์ขาว

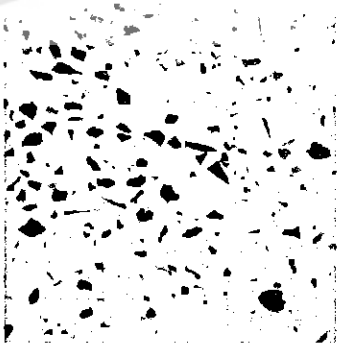
**ตารางที่ ง.1** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิก ที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาวเท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 20 : 80 |  |
| 30 : 70 | |
| 40 : 60 |  |

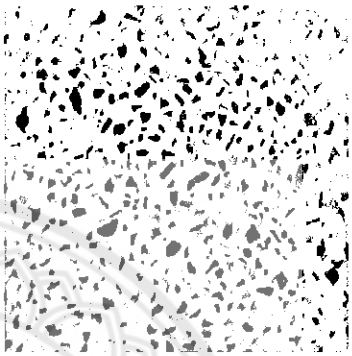
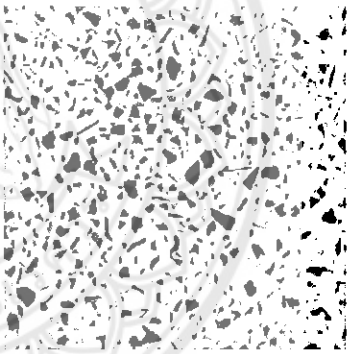
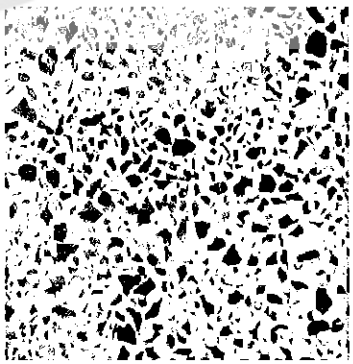
**ตารางที่ ง.1 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 50 : 50 |  |
| 60 : 40 |  |
| 70 : 30 |  |

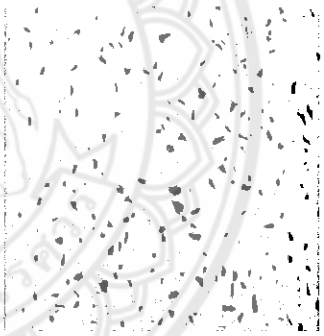
**ตารางที่ ง.1 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 20 : 80 | |
| 30 : 70 | |
| 40 : 60 |  |

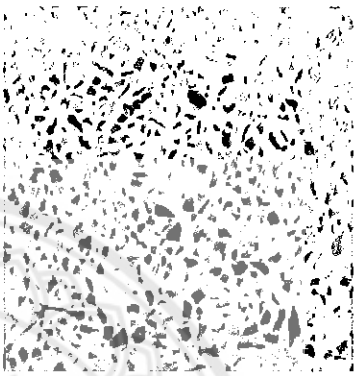
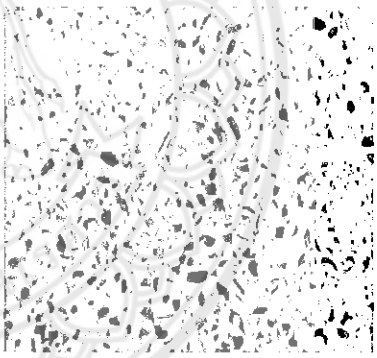
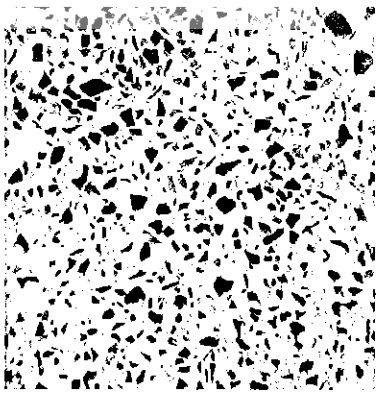
**ตารางที่ ง.1 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 50 : 50 |  |
| 60 : 40 |  |
| 70 : 30 |  |

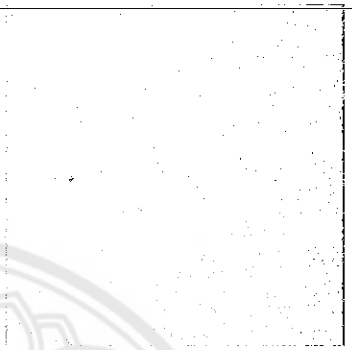
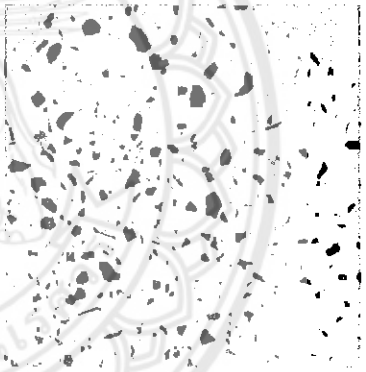
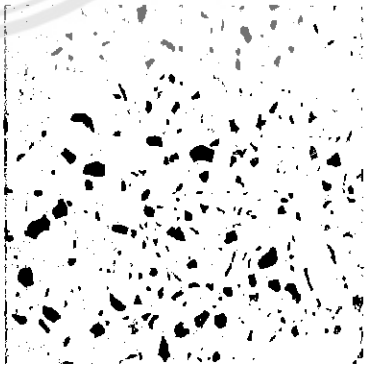
**ตารางที่ ง.1 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 20 : 80 | |
| 30 : 70 |  |
| 40 : 60 | |

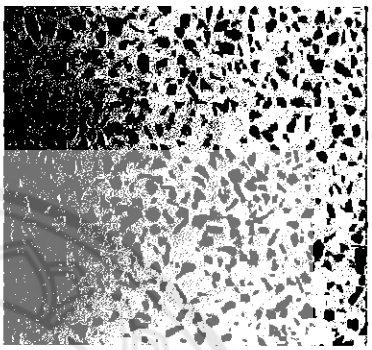
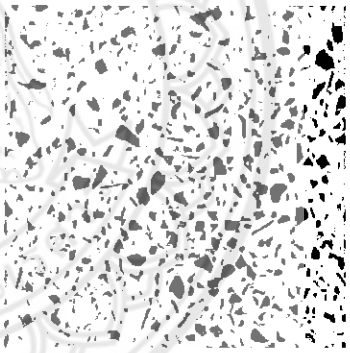
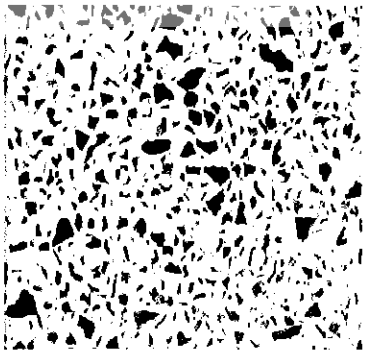
**ตารางที่ ง.1 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 50 : 50 |  |
| 60 : 40 |  |
| 70 : 30 |  |

**ตารางที่ ง.2** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 20 : 80 |  |
| 30 : 70 |  |
| 40 : 60 |  |

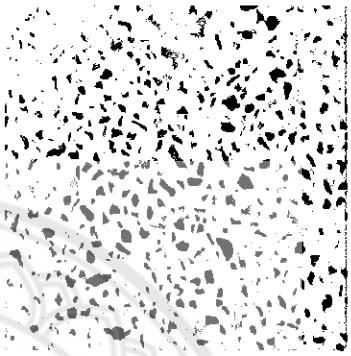
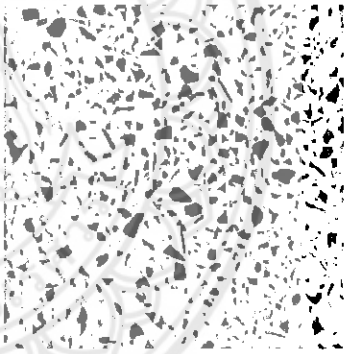
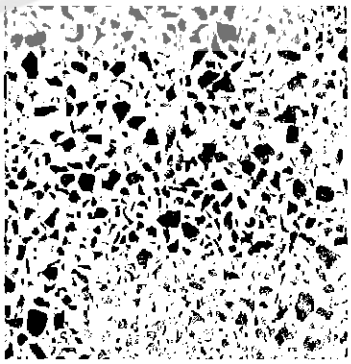
**ตารางที่ ง.2 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 50 : 50 |  |
| 60 : 40 |  |
| 70 : 30 |  |

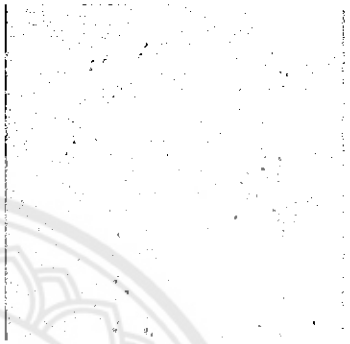
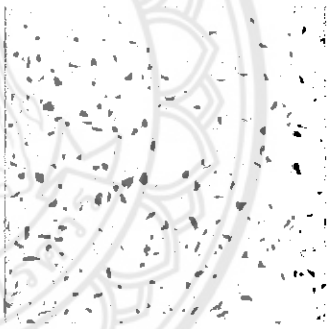
**ตารางที่ ง.2 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 20 : 80 | |
| 30 : 70 | |
| 40 : 60 | |

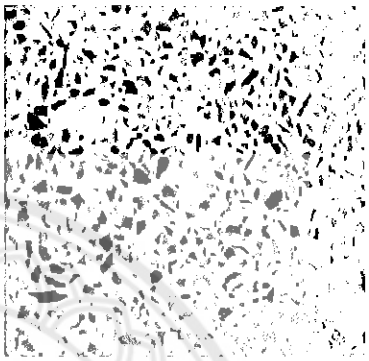
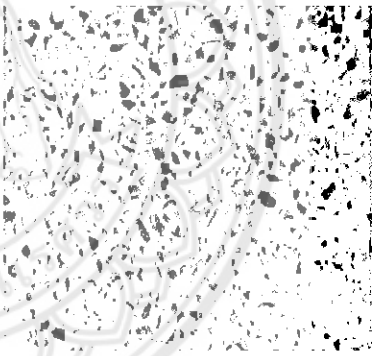
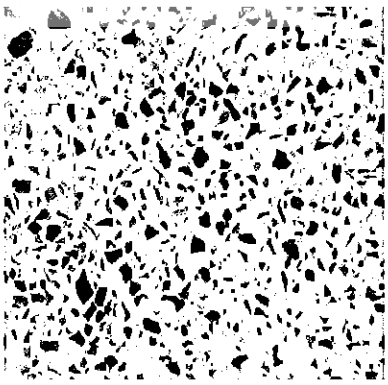
**ตารางที่ ง.2 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 50 : 50 |  |
| 60 : 40 |  |
| 70 : 30 |  |

**ตารางที่ ง.2 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 20 : 80 |  |
| 30 : 70 |  |
| 40 : 60 | |

**ตารางที่ ง.2 (ต่อ)** ลักษณะของกระเบื้องเซรามิกที่อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว เท่ากับ 20 : 80, 30 : 70, 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับใช้อัตราส่วนปริมาณน้ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน

| อัตราส่วนผสมระหว่างเศษแก้วโซดาไลม์ต่อปูนซีเมนต์ขาว | ลักษณะกระเบื้อง |
|---|---|
| 50 : 50 |  |
| 60 : 40 |  |
| 70 : 30 |  |

# ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาววรรณิภา ปราณีต
ภูมิลำเนา 7 หมู่ 1 ต.เชียงทอง อ.วังเจ้า จ.ตาก 63000
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนผดุงปัญญา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: wannipa_praneet@hotmail.com

ชื่อ นายนรินทร์ ขัตติวงค์
ภูมิลำเนา 828 ม.1 ต.ท่าสายลวด อ.แม่สอด จ.ตาก 63110
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสรรพวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: yong_armchair@hotmail.com

ชื่อ นางสาวอรวรรยา ทิมอยู่
ภูมิลำเนา 27/1 หมู่ 8 ต.ไกรใน อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย 64170
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุดมดรุณี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: orawanya_n13@hotmail.com